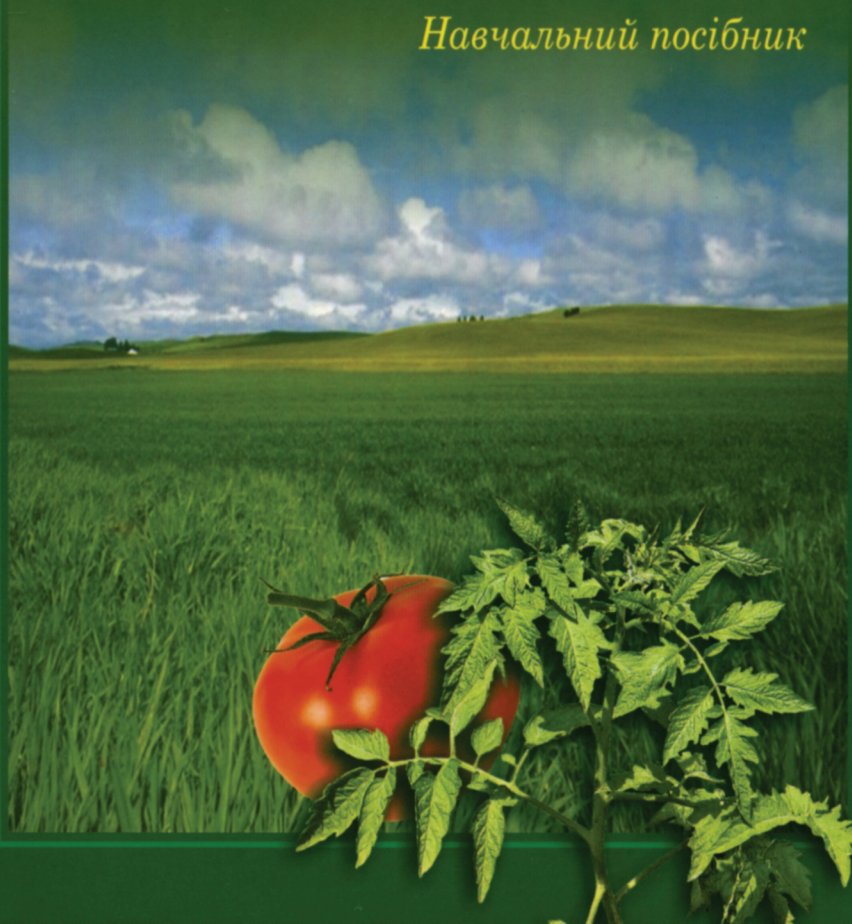
АГРО-ЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник





•ВИЩА ОСВІТА•



АГРОЕКОЛОГІЯ

Навчальний посібник

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Київ
«Вища освіта»
2006

УДК 631.95(075.8)
ББК 40.1я73
А26

А в т о р и: О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак, А.С. Малиновський, В.Г. Радько, М.Ф. Рибак, С.М. Талько, П.П. Храпійчук, І.В. Шудренко, В.Г. Дідора, В.М. Дема

Р е ц е н з е н т и: д-р с.-г. наук, проф., академік УААН *Ю.І. Савченко* (директор Інституту сільського господарства Полісся УААН); д-р с.-г. наук, проф. *М.О. Клименко* (Національний університет водного господарства та природокористування)

Р е д а к т о р: *Н.А. Серебрякова*

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України (гриф надано Міністерством освіти і науки України (лист № 14/18.2-1839 від 29.07.04))

А26 **Агроекологія:** Навч. посібник / О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін. — К.: Вища освіта, 2006. — 671 с.: іл.

ISBN 966-8081-55-2

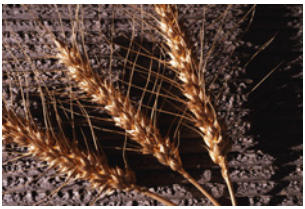
Узагальнено і систематизовано фактичний науково-практичний матеріал з агроекології. Висвітлено її завдання, методологію, вплив забруднення повітря, води і ґрунту на людей, тварин та сільськогосподарські культури. Запропоновано заходи щодо збереження ґрунтового покриву, екологічно обґрунтованого підходу до хімізації сільськогосподарського виробництва, меліорації земель, ведення біологічного землеробства з метою отримання екологічно чистої продукції. Значну увагу приділено веденню сільськогосподарського виробництва в умовах радіоактивного забруднення території.

Для студентів вищих навчальних закладів.

ББК 40.1я73

ISBN 966-8081-55-2

© О.Ф. Смаглій, А.Т. Кардашов, П.В. Литвак та ін., 2006



ВСТУП

Низькі продуктивність і стабільність сільськогосподарського виробництва в колишньому СРСР, у тім числі й в Україні, були зумовлені недооцінкою, а нерідко і повним ігноруванням законів розвитку природи і суспільства. Наслідком цього стали деградація і руйнування природних ландшафтів, зростання водної і вітрової ерозії ґрунтів, погіршення водного режиму річок і територій в цілому, забруднення їх та навколишнього середовища антропогенними компонентами.

Нині глобальна екологічна криза більш загрозлива, ніж навіть ядерна війна. Соціалістичне мислення, яке визначалося гаслами, привело до нераціонального, споживацького використання природних ресурсів України. Аварія на Чорнобильській АЕС поставила під загрозу життя людей не тільки в нашій країні. З майже 700 адміністративних районів України лише 12 мають доаварійний радіаційний фон і все це накоїв «радянський мирний атом». Таке гасло прикрашало Чорнобильську АЕС, і воно має стати засторогою для всіх нас, хто живе на цій багатостраждальній землі. Ситуація, що склалася, потребує нового мислення і стратегії природокористування, яка ґрунтується на злагоді з природою і суспільством, здатна задовольнити матеріальні потреби людей і не підриватиме умови розширеного відтворення виробництва в майбутньому.

Сільське господарство, як ні одна з інших галузей виробництва, тісно пов'язане з інтенсивним використанням основних природних ресурсів — землі, повітря і води. Науково-технічний прогрес у сільському господарстві нині досяг такого рівня, коли кожен фахівець-аграрій має володіти не лише сукупністю спеціальних сільськогосподарських і фітобіологічних знань, а й мати високий рівень екологічної освіти. Без цього неможливо раціонально використовувати природні ресурси на селі й успішно вирішувати проблеми охорони довкілля.

Від екологічних знань усього населення, й особливо, спеціалістів сільського господарства залежать захист і збереження навколишнього середовища від деградації природних ландшафтних систем та прямого забруднення, зниження ресурсо-, матеріало- та енергоємно-

сті сільськогосподарського виробництва, впровадження маловідходних технологічних систем і процесів, мінімізація втрат сільськогосподарської продукції, впровадження природодоцільних систем ведення землеробства, тваринництва, оптимізація ландшафтів сільськогосподарських районів, виробництво екологічно чистої продукції та ін. Методологічно важливо надати екологічне спрямування сільськогосподарським технологіям з урахуванням напрямів науково-технічного прогресу, особливостей спеціалізації і концентрації за природно-господарськими зонами. Концепція природодоцільності має бути закладена у виробничі системи, а при оцінці продуктивності слід враховувати співвідношення виробленої продукції й об'ємів використаних ресурсів та отриманих відходів.

Вимоги раціонального природокористування треба враховувати на всіх підсистемах сучасного агропромислового комплексу (сфера виготовлення засобів виробництва для сільського господарства, сфера його матеріально-технічного обслуговування, власне сільськогосподарське виробництво, заготівля, зберігання, первинна переробка і реалізація сільськогосподарської продукції).

На озброєнні сучасного сільськогосподарського виробництва є методи і засоби, які успішно застосовуються в практиці природоохоронної роботи. Однак потрібно посилити контроль за станом раціонального використання природних ресурсів з метою запобігання подальшому забрудненню, деградації та виснаженню ґрунтів, водних екосистем, атмосфери. Це сприятиме поліпшенню умов довкілля для людей, тварин і рослин. Дуже важливо не переступити поріг самозахисту природи, за межами якого починаються неконтрольовані деградаційні процеси.

Вивчення програмних курсів «Основи сільськогосподарської екології» та «Агроекологія» дасть майбутнім спеціалістам АПК повний обсяг екологічних знань загального і сільськогосподарського спрямування, ознайомить із науковими принципами раціонального безбиткового і відновного природокористування у сфері сільськогосподарського виробництва. Крім того, сьогодні потрібна принципово нова система усієї освіти, яка була б пройнята ідеями теорії систем і оптимізації. Тільки за такого підходу можна збагнути систему зв'язків: організм — середовище, суспільство — природа тощо. У кінцевому підсумку це забезпечить розвиток екологічної свідомості, культури виробничої діяльності та гармонійної єдності людини і природи. У нинішніх умовах України кожен член суспільства має розуміти, що шкода від забруднення та плюндрування наших лісів, боліт, луків, ланів, яка набула особливо інтенсивного розмаху в період розбудови соціалізму, негативно впливає не лише на здоров'я населення, яке живе сьогодні, а й на генофонд сучасних і прийдешніх поколінь.

Концепція безперервної екологічної освіти та виховання

Стан і стратегія формування безперервної екологічної освіти та виховання в Україні. За сучасних умов проблеми екології як на планетарному рівні, так і в Україні стали першочерговими. Через хибні методологічні настанови в нашій державі більшість технологій у сферах промисловості, сільського господарства здійснювались без достатнього врахування їхнього впливу на навколишнє середовище, що призвело до екологічної кризи. Тому споживацьке ставлення до природи, ігнорування її законів має бути замінене на гармонійне співіснування людини і природи.

У вирішенні проблеми суспільство — природа першорядне значення має відігравати екологічна освіта, яку слід узгодити із сучасними вимогами окремої людини, виробництва, суспільства. Тільки в такому поєднанні можна охопити різні вікові групи людей і пропагувати екологічну освіту та виховання громадян України протягом усього їхнього життя.

Складовими системами екологічної освіти та виховання є формальні і неформальні її структури.

Формальна екологічна освіта — це спеціально організований цілеспрямований педагогічний процес, який охоплює дошкільні та загальноосвітні заклади, навчально-виховні заклади робітничих професій, професійну освітню підготовку спеціалістів I – II та III – IV рівнів акредитації, післядипломну підготовку і перепідготовку кадрів, аспірантуру, докторантуру.

Неформальна екологічна освіта передбачає своєчасне поширення об'єктивної екологічної інформації з метою поглиблення екологічних знань та створення умов для самоосвіти громадян. Цей процес планомірно здійснюється через засоби масової інформації, самоосвіту, громадські об'єднання, природно-заповідний фонд, бібліотеки, музеї тощо. Велику роль у цей роботі може відігравати церква.

Концепція спрямована на глибоке опанування громадянами законів природи, розвиток екологічного мислення, свідомості та культури у їх взаємовідносинах із навколишнім світом.

Концепція як система поглядів на взаємозв'язки і взаємодії людини, суспільства і природи сприятиме ліквідації недоліків у розв'язанні природоохоронних проблем у суспільстві та вдосконаленню методологічних основ і завдань екологічної освіти на сучасному етапі.

Мета, завдання, основні структурні положення екологічної освіти та виховання. Основною метою екологічної освіти та виховання є формування екологічної свідомості як специфічної форми регулювання взаємодії людини з навколишнім середовищем. На

цій основі формується екологічне мислення, екологічна культура та розширюється світогляд людини.

Завдання безперервної екологічної освіти вирішуватимуться шляхом:

- формування у свідомості членів суспільства екологічної парадигми замість існуючої технократичної;
- розуміння громадянами України сучасних проблем довкілля й усвідомлення, що єдиним шляхом збереження цивілізації є докорінна зміна у ставленні до природи усіх верств населення;
- розуміння особистої відповідальності кожного члена суспільства за стан довкілля на національному і глобальному рівнях;
- відродження кращих традицій українського народу у ставленні до природи та засвоєння відомих досягнень світової практики;
- залучення усіх громадян до активної природоохоронної діяльності на основі набутих знань і наукових рекомендацій;
- оволодіння громадянами фаховими знаннями в системі людина — суспільство — природа та застосування їх для розв'язання екологічних проблем у конкретних ситуаціях;
- здобуття вміння приймати екологічно виважені рішення щодо місцевих проблем довкілля, спираючись на отримані професійні екологічні знання;
- формування екологічної культури, подолання споживацького ставлення до природи та її ресурсів;
- виховання почуття патріотизму до рідної природи;
- побудови діяльності людини в природному середовищі на наукових і християнських принципах.

Стратегічні завдання концепції екологічної освіти та виховання в Україні. Основними стратегічними завданнями концепції є:

- збереження життєздатного природного середовища, біологічного різноманіття, у тім числі й генофонду людей;
- докорінна перебудова екологічної освіти та виховання особистості на наукових і християнських принципах, що є необхідною умовою розбудови незалежної України;
- формування нового екологічного мислення, що ґрунтується на дотриманні принципів науковості, гуманності у взаємовідносинах суспільства і природи;
- розвиток екологічної освіти з урахуванням національних надбань, у тім числі й вчення В.І. Вернадського про ноосферу, що сприятиме формуванню екологічного мислення не тільки у вузьконаціональному, а й планетарному аспекті;
- сприяння екологічній освіті як напряму вдосконалення особистості, її внутрішнього світу та виховання людської гідності, гуманізму, громадянської свідомості;

• усвідомлення людиною самої себе часткою природи, пов'язаної з її численними нерозривними ланками, що дасть змогу будувати відповідні взаємовідносини з навколишнім середовищем;

• урахування того, що екологічна освіта сприяє міжнародному взаєморозумінню, співробітництву і миру.

Принцип екологічної освіти та виховання. Система екологічної освіти та виховання ґрунтується на таких педагогічних принципах: безперервність, наступність, відповідність віковим особливостям та регіональним природно-етнічним чинникам.

У системі екологічної освіти визначальними є такі принципи:

• цілісність навколишнього середовища, що спрямована на формування у громадян розуміння єдності довколишнього світу, нерозривного зв'язку його компонентів, взаємообумовленості процесів;

• системність, систематичність і безперервність екологічної освіти, що передбачає розробку цілісного змісту, форм і методів формальної та неформальної освіти громадян від дошкільного віку і далі — протягом усього життя;

• міждисциплінарний підхід до формування екологічного мислення, що передбачає логічне поєднання спрямування та поглиблення системних природних знань; такий підхід сприяє розвитку оцінково-критичного мислення, емоційно-художнього сприйняття довкілля та засвоєння правових норм поведінки в природному середовищі;

• взаємозв'язок глобального, національного і краєзнавчого мислення, що сприятиме патріотичному вихованню і поглибленому розумінню екологічних проблем на різних рівнях — від краєзнавчих екологічних криз до глобальних, що можуть загрожувати існуванню біосу, в тім числі й людини; слід керуватися принципом, висловленим у заяві ЮНЕСКО: «Думай глобально, а дій локально»;

• принцип навчання. спрямований на розвиток особистості як на високому еколого-професійному рівні, так і на моральних, патріотичних, загальнолюдських цінностях.

Зміст і шляхи втілення формальної екологічної освіти. Світовий досвід визнає два підходи до визначення екологічної освти:

1) *мультидисциплінарний*, який передбачає екологізацію існуючих навчальних предметів відповідно до специфіки їх змісту;

2) *внутрішньодисциплінарний*, що визначає введення в навчальний план спеціальних предметів екологічного (природоохоронного) змісту — «Основи екології», «Людина і біосфера», «Основи екології рослин», «Охорона природи», «Агроекологія», «Зооекологія» та ін.

Розкриття змісту екологічної освіти та виховання ґрунтується на національних і загальнолюдських цінностях. Національний характер екологічної освіти та виховання відбиває здобутки етнопедагогіки, трудові народні традиції, елементи календарної обрядовості, фольклору тощо. Національні надбання виховують у громадян ша-

нобливе ставлення до природи, збереження ресурсів регіону. Орієнтація на загальнолюдські цінності, ідеї гуманізму, демократії, гуманізації стосунків людини з природою сприятиме вдосконаленню внутрішнього світогляду людини.

Зміст екологічної освіти спирається на систему наукових знань, які відбивають методологічні природничо-наукові, соціально-економічні, правові, морально-етичні та технічні аспекти. Знання як компонент екологічної освіти є цілісною структурою і складаються з пізнавальних та діяльних елементів навчання. Пізнавальні елементи включають екологічні знання, формування внутрішньої культури особистості, що гармонізуватиме стосунки людини з природою. Усе це допомагає людині усвідомити своє місце в царстві природи і з'ясувати свою відповідальність перед ним. Тільки на цій основі можливі гармонійні відносини людини і природи.

Поряд зі знанням змістом екологічної освіти є також розвиток інтелектуальних, практичних і загальнонавчальних умінь. *Інтелектуальні вміння* — це здатність людини екологічно мислити із застосуванням аналізу, синтезу, абстрагування, наукового прогнозування. За допомогою інтелектуального вміння виробляються дослідницькі навики, корисні для прийняття доцільних екологічних рішень. *Практичні вміння* дають змогу особистості екологічно грамотно оцінити стан природи і в разі потреби вжити заходів щодо захисту складових ланок екосистем. *Загальнонавчальні вміння* сприяють підвищенню екологічної грамотності та екологічної компетентності особистості. Особистість набуває екологічних знань та умінь через освітню систему.

Дошкільна освіта є вихідною ланкою безперервної екологічної освіти, яка ґрунтується на безпосередньому ознайомленні з природними об'єктами. Вона включає родинне виховання, де родина разом із дошкільним закладом повністю відповідає за формування екологічного світогляду дитини. Стратегічним напрямом виховного процесу є прищеплення дитині бажання зберігати і поліпшувати рідну природу.

Шкільна екологічна освіта продовжує і поглиблює процес екологічного світосприйняття і поділяється на початкову, основну і повну.

Початкова екологічна освіта забезпечує свідоме, адекватно-збалансоване сприйняття навколишнього середовища і включає спрощений аналіз взаємозв'язків у ньому.

Основна екологічна освіта дає ґрунтовні знання з екології, вміння аналізувати механізм функціонування природних екосистем, їх економічний зв'язок, а також чітке уявлення про рух речовини й енергії в екосистемах.

Повна екологічна освіта дає знання з екології на біосферному рівні, що ґрунтуються на синтезі знань з інших дисциплін і мають

проблемно-орієнтований характер, у тім числі за вибором учня. Кінцевим результатом кожного рівня є забезпечення повноти знань з екології згідно з атестаційними вимогами.

Професійна екологічна освіта забезпечує природну єдність еколого-технологічного блоку в підготовці кадрового потенціалу країни, базового рівня і відповідає професійним вимогам стосовно екології.

Спеціальна екологічна освіта I – II рівнів передбачає природну єдність еколого-технологічного блоку в підготовці кадрового модуля АПК I – II рівнів, який забезпечує контроль виробничого процесу згідно з чинними нормативами і відповідає кваліфікаційним вимогам з практичних та теоретичних питань загальної екології.

Спеціальна екологічна освіта III – IV рівнів забезпечує природну єдність еколого-технологічного блоку в підготовці кадрового модуля АПК III – IV рівнів, здатного давати експертну оцінку науково-технічному процесу в сільськогосподарському виробництві і відповідати кваліфікаційним вимогам щодо загальної й теоретичної екології.

Післядипломна екологічна освіта (ФПК, аспірантура, докторантура) покликана готувати кадровий модуль вищої кваліфікації, який відповідає світовому рівню ведення екологічно збалансованого виробництва, сприяє поліпшенню екологічного рівня біосфери і носить превентивний характер.

Підвищення кваліфікації спеціалістів має бути безперервним, переважно без відриву від виробництва і спрямованим на вдосконалення загальної екологічної професійної підготовки. Фахівці в галузі охорони навколишнього природного середовища підвищують свою кваліфікацію при спеціальних вищих навчальних закладах, інститутах підвищення кваліфікації, професійних і наукових товариствах. Як у шкільній, так і в професійній, вищій освіті та системі післядипломної підготовки успішна реалізація концепції залежить від розробки нових навчальних програм, робочих планів, навчальних посібників і підручників, методичних матеріалів, комп'ютерних програм тощо. В навчальних програмах мають бути визначені шляхи реалізації екологічної освіти та виховання відповідно до соціальних, етнографічних, природних, господарських особливостей конкретного регіону.

Форми і методи неформальної екологічної освіти та виховання. Для налагодження неформальної екологічної освіти та виховання слід на державному рівні цілеспрямовано використовувати засоби масової інформації, базу природного заповідного фонду та його фахівців, церкву, краєзнавчі і спеціальні природничі музеї, універсальні наукові бібліотеки для поширення й популяризації екологічних знань серед широких верств населення.

Основні завдання неформальної екологічної освіти вирішують вихованням екологічного мислення у громадян і розв'язанням насущних природоохоронних питань.

Міжнародне співробітництво у справі реалізації екологічної освіти та виховання. У забезпеченні безперервної екологічної освіти та виховання значна роль міжнародного співробітництва. Його слід активувати насамперед стосовно проведення міжнародних регіональних конференцій з проблем екоосвіти. Воно сприятиме цивілізованому підходу до формування нової екологічної свідомості та екологічної політики держави.

Для прискорення реалізації концепції потрібно:

- активно розвивати міжнародні зв'язки з питань екоосвіти та виховання з розвиненими країнами світу; розробити механізм входження системи екоосвіти України в освітні програми ЮНЕСКО, міжнародні й екологічні фонди для розширення можливостей навчання громадян за кордоном;
- розширити стажування українських учених за кордоном, сприяти науковим установам у виданні спільних наукових праць з екології та екоосвіти;
- на базі Державного агроекологічного університету створити міжнародний державний центр екологічної освіти та виховання і сприяти налагодженню прямих зв'язків із провідними країнами світу;
- включити Державний агроекологічний університет до програми міжнародної технічної допомоги;
- спільно з іноземними навчальними закладами створити навчальні й наукові програми в галузі екологічної освіти та виховання; обмінюватись вже існуючими програмами;
- налагодити обмін науково-технічним досвідом у цій галузі, створити міжнародні центри підвищення кваліфікації в галузі екологічної освіти та виховання;
- організовувати і проводити міжнародні семінари, конференції, симпозіуми, наради з екологічної освіти та виховання;
- створити спільні навчально-освітні, туристичні, екскурсійні програми екологічної освіти та виховання.

Державне управління екологічною освітою та вихованням. Екологічна освіта громадян України є базою для реалізації завдань охорони навколишнього середовища, соціального культурного розвитку суспільства. Вирішення цих завдань можливе лише на основі розробки єдиної системи управління як на загальному, так і на регіональному рівнях, яка б визначала державну політику і формувала програму в цій галузі.

Основними завданнями державного управління екоосвітою є:

- вдосконалення змісту та форм загальної обов'язкової екологічної навчальної й виховної роботи серед громадян України;

• розробка і створення систем юридичних гарантій неухильного виконання вимог у галузі екологічної освіти та виховання відповідними відомствами, їхніми установами;

• контроль за дотриманням вимог екологічної законності та екологічної моралі.

Складовою частиною системи управління має бути інформаційна служба, яка б доносила екознання до населення, прищеплювала громадянам елементи екологічної свідомості і культури.

Системі управління слід підпорядкувати процес перепідготовки і підвищення кваліфікації педагогічних працівників. Невідкладним є також перегляд навчальних планів і програм дошкільних установ, шкіл, середніх спеціальних та вищих навчальних закладів, атестаційних і кваліфікаційних вимог до спеціалістів, підготовка нормативних документів для контролю якості екологічної освіти.

На державному рівні екологічну освіту слід розглядати як безперервний процес, протягом якого упродовж життя отримують знання у цій галузі широкі верстви населення — від рядових виробничників до керівників виробництва.

Історія становлення та розвитку сільськогосподарської екології як прикладного напряму загальної екології

Історія становлення та розвитку екології нерозривно пов'язана з виникненням і розвитком людського суспільства. Людина — єдине ціле з навколишнім середовищем, вона живе і працює в ньому, і кожна її дія — велика чи мала — впливає на стан природи.

Вся історія людства — це висхідне, часом стихійне і навіть хижацьке споживання і використання природних ресурсів — землі, води, повітря лісів, луків, корисних копалин, біологічного різноманіття (рослин, тварин, водоростей, грибів, лишайників тощо).

В міру росту масштабів і вдосконалення засобів виробництва, використання природних ресурсів у людей об'єктивно виробилось усвідомлення зв'язку із зовнішнім світом і залежності від нього. В результаті в людини формуються навики доцільного, а з часом — раціонального і бережливого ставлення до природи. Водночас, нехай стихійно, підсвідомо з розрізнених фактів формувалися паростки природно-наукових, у тім числі й екологічних знань.

Екологія як наука з її шляхами і завданнями з'явилася порівняно недавно, хоча її зародження сягає сивої давнини.

Із часів палеоліту збереглися наскельні малюнки із зображенням тварин, сцен полювання на них, культивування рослин. Чимало подібних відомостей трапляється в давніх єгипетських, індуських, китайських, тибетських і єврейських письмових джерелах.

Вагомий внесок у розвиток знань про природу зробили античні вчені. Аристотель (384 – 322 рр. до н.е.) у своїй праці «Про виникнення тварин» запропонував першу їх класифікацію екологічного спрямування (пристосованість тварин до умов місця проживання, залежності їхніх морфологічних особливостей від умов зовнішнього середовища, сезонної і добової активності, особливостей харчування та ін.).

Учень Аристотеля Теофраст (372 – 287 рр. до н.е.) у праці «Дослідження в рослинництві» описав майже 500 видів рослин, виділив їх природні угруповання, практично започаткував ботаніку й геоботаніку.

Подальший розвиток природничі науки отримали в Стародавньому Римі. Особливо слід підкреслити заслуги Плінія Старшого (23 – 79 рр. н.е.), який у багатотомній праці «Природна історія» узагальнив дані з ботаніки, зоології, лісового господарства.

І ст. н. е. ознаменувалося діяльністю вченого-агронома Колумелли, який вже добре знав значення добрив, особливості агротехніки і росту сільськогосподарських культур.

В епоху Середньовіччя у вивченні природи настав тривалий застій. Однак і в цей важкий для науки період сформувалося важливе в екологічному плані розуміння комплексу природи.

Так, італієць Леонардо із Пізи вперше розглянув популяції з урахуванням вікової структури. Англієць Р. Бекон (бл. 1214 – 1292) описав залежність організмів від умов існування. З природою далеких країн ознайомлювали трофеї мандрівників Марко Поло, Афанасія Нікітіна.

З початком епохи Відродження підноситься й розвиток природничих наук, з'являється нова інформація екологічної значущості. Активується процес вивчення навколишнього світу.

Англійський учений Р. Бойль (1627 – 1691) провів по суті перший екологічний експеримент, спостерігаючи за впливом низького атмосферного тиску на життєдіяльність різних тварин. Інший англійський дослідник Д. Рей (1627 – 1705) розглянув біологічні критерії виділення виду, розробив основи концепції роду та виду, яка в подальшому була розвинена К. Лінеєм, Ж.Б. Ламарком, Ч. Дарвіном та іншими.

Французький дослідник Ж. Турнефор (1656 – 1708) перший описав вертикальну поясність рослинності в горах й порівняв її з горизонтальним розподілом рослинності рівнин.

Один із основоположників наукової мікроскопії голландець А.В. Левенгук (1632 – 1723) першим звернув увагу на харчові ланцюги і механізм регулювання чисельності тварин.

Перший фенолог і засновник наукової систематики К. Ліней (1707 – 1778) опублікував дві праці: «Економія природи» (1749) і «Суспільний устрій природи» (1760). Дослідник вважав, що необхідне не тільки розмноження організмів, а й їх руйнування, оскільки

загибель одних організмів забезпечує існування інших. Цим підтримується благополучність природи. К. Ліней по суті запровадив поняття біотичного колообігу.

Французький природодослідник Ж.Л. Бюффон (1707 – 1788) у 36-томній праці «Природна історія» (1749 – 1788) обґрунтував вплив середовища, насамперед клімату і характеру місцевості, на життя рослин і тварин. Закцентував увагу на рості чисельності тварин, який, на думку автора, відбувається в геометричній прогресії. Пізніше цю ідею розвинув англійський священик Т.Р. Мальтус (1766 – 1834). За Мальтусом, чисельність населення росте в геометричній прогресії (1, 2, 4, 8, 16), а засоби існування — в арифметичній. Результат — об'єктивний розрив між темпами приросту народонаселення і засобами існування, й отже, ілюзорність загального благополуччя. Це вчення досі є предметом найгостріших наукових дискусій, стимулом для глибоких роздумів про долю людства. З одного боку, негативне ставлення до цього закону пов'язане з антигуманним трактуванням його самим автором про те, що ми маємо бути послідовні і сприяти діяльності природи, яка спричинює смертність. Замість того, щоб проповідувати серед злиденних необхідність дотримання чистоти, ми маємо заохочувати протилежні звички. Ми повинні засуджувати застосування лікарських засобів для лікування смертельних хвороб, а також тих добрих людей, які винаходять засоби викорінювання бід і думають, що роблять послугу людству. З іншого боку, за визначенням Н.Ф. Реймерса (1993), суть концепції Мальтуса в сучасному трактуванні полягає в тім, що збільшення вкладеної енергії в отримання економічно значущої продукції не дає пропорційної віддачі. Безумовно, на людину як на біологічний вид закон геометричної прогресії швидкості розмноження, відкритий Мальтусом, поширюється повністю. І з цих позицій теорія, що розглядається, має строго науковий інтерес.

Вагомий внесок у розвиток природничих наук вітчизняних учених. Особливе місце посідають дослідження А.Т. Болотова (1738 – 1833). Він багато уваги приділяв вивченню впливу середовища на організм, створив одну з перших класифікацій місцепроживань, порушив питання взаємовідносин між організмами. У 1770 р. він опублікував знаменитий трактат «Про удобрення земель», в якому вперше висловив думку про мінеральне живлення рослин, яка довго не сприймалася науковим світом. І тільки в середині XIX ст. остаточно запанували болотівські погляди, без яких неможливо уявити сучасне землеробство. А.Т. Болотов провів багато важливих спостережень, які не втратили свого значення до наших днів, що дає підставу вважати його засновником сучасної сільськогосподарської екології.

На початку XIX ст. французький вчений Ж.Б. Ламарк (1744 – 1829) започаткував вчення про біосферу і незалежно від німецького вченого

К.Ф. Бурдаха (1776 – 1847) запропонував термін «біологія», вклавши в нього глибокий зміст. Ідеї Ж.Б. Ламарка про можливість успадкування набутих ознак, як відомо, відіграють важливу роль у біології.

Для розвитку екології, особливо агроекології, істотне значення мала опублікована в 1840 р. книга німецького вченого Ю. Лібіха (1803 – 1873) «Хімія в застосуванні до землеробства і фізіології», яка докорінно змінила погляди на живлення рослин. Вчення про необхідність повернення відчужених з урожаєм поживних речовин у ґрунт для підтримання його родючості К.А. Тімірязєв вважав величезним надбанням науки.

У цей період простежувалася тенденція комплексного підходу до вивчення природи.

Німецький природодослідник А. Гумбольдт (1769 – 1859) у багатотомному виданні «Космос» (1845) показав значення клімату для життя рослин, запровадив поняття ізотерм, висунув ідею горизонтальної поясності в поширенні рослин, передбачив існування їх життєвих форм.

Російський біолог К.Ф. Рульє (1814 – 1858) обґрунтував закономірності впливу середовища на розвиток органічного світу, розробив систему вивчення тварин, у тім числі й в екологічному плані. Він розкрив значення біотичних чинників у житті рослин і тварин, утвердив поняття географічної й екологічної мінливості видів. Віддаючи належне науковим заслугам А. Гумбольта і К.Ф. Рульє, багато вчених вважає їх провісниками системного пізнання природи як єдиного цілого, розуміння концепції біосфери як глобальної екосистеми.

Подією світового значення, що сприяла подальшому активному розвитку природничих наук, у тім числі й екології, стала відома праця Ч. Дарвіна (1809 – 1882) «Походження видів шляхом природного добору, або Збереження обраних порід у боротьбі за життя» (1859), де наведено і глибоко обґрунтовано еволюційну теорію як обов'язкову складову частину екології. Головною рушійною силою природного добору він вважав мінливість, спадковість, геометричну прогресію розмноження, боротьбу за існування. У працях Ч. Дарвіна не вживалось слово «екологія», проте вся наукова діяльність цього дослідника природи дуже великою мірою сприяла розвитку екологічних знань. Термін «екологія» запропонував його товариш — Е. Геккель.

Основоположником класичної екології вважають німецького зоолога Е. Геккеля (1834 – 1919), який у 1866 р. в передмові до «Загальної морфології організму» назвав науку про організми та середовище, що оточує їх, екологією.

Цей термін дедалі глибше входить у науковий арсенал фітобіологів та зоологів. Головним екологічним завданням зоології було з'ясування взаємодії окремих організмів і груп між собою і з середовищем. У ботаніці на першому етапі розвитку науки екологію

пов'язували в основному з вивченням впливу абіотичних чинників на ріст і розвиток видів рослин.

Проте дедалі настійливішою стає необхідність розгляду і вивчення рослинного і тваринного світу як цілісної системи, «живої речовини», в нерозривному зв'язку з абіотичним і біотичним середовищем. Цю функцію взяла на себе екологія, тобто аутекологічний напрям, що передбачає вивчення пристосовуваності окремих видів рослин і тварин до умов середовища та способів життя видів.

Для подальшого розвитку теоретичних основ екології важливе значення мали дослідження німецького вченого К. Мебіуса (1877), який сформулював поняття про біоценози. Під *біоценозом розуміють сталу систему організмів (біоти), разом існуючих на певній ділянці суходолу чи водоймі, та створеного ними біоценотичного середовища.* Внаслідок розвитку цього поняття сформувалась наука біоценологія. Під *біоценотичним середовищем зазвичай розуміють внутрішнє середовище біоценозу, тобто створене в процесі обміну й колообігу речовин сукупним впливом біоти на зовнішнє середовище* (ґрунт, вода, повітря тощо). Воно є невід'ємним компонентом біоценозу. *Біоценологія — це вчення про біологічні угруповання чи біоценози, їх склад, структуру, динаміку, походження, внутрішнє (біоценотичне) середовище, використання й охорону.* Важливим напрямом при вивченні рослинних і тваринних угруповань є вчення про природний добір. Процеси формування й існування біоценозів супроводжуються значною загибеллю особин біоти, тим самим відбувається становлення добре адаптованих ценопопуляцій. Отже, біоценотичний добір зумовлює стабільність біоценозів.

Зважаючи на важливість популяцій в існуванні видової біоти в угрупованнях, екологи від аутекологічного напряму почали розробляти демекологічний, або екологію популяцій. В ньому досконало вивчаються прямі й зворотні зв'язки популяцій із середовищем та внутрішньопопуляційні процеси.

Детальне дослідження угруповань сприяло розвитку *синекології* — науки, що вивчає взаємовідносини угруповань рослин, тварин і мікроорганізмів із середовищем.

Одним із основоположників екології в Росії був професор В.В. Докучаєв (1846 – 1903), який розробив всесвітньо відомий метод пізнання природи. У 1883 р. вийшла в світ його книга «Російський чорнозем». У ній великий ґрунтознавець виклав вчення про ґрунт як продукт сукупного творення живих організмів, гірської породи і клімату, визначив п'ять чинників ґрунтоутворення, створив вчення про природні зони, яке започаткувало науку про ландшафти. Широко відомі його концепції лісових полезахисних насаджень. Учні В.В. Докучаєва — професор Г.Ф. Морозов і академік

Г.М. Висоцький — зробили вагомий внесок у становлення екології. На основі докучаєвського методу Г.Ф. Морозов (1867 – 1920) розробив фундаментальне вчення про *ліс як цілісний біологічний та географічний комплекс*. Г.М. Висоцький (1865 – 1940) створив вчення про *лісову пертиненцію* і довів взаємозв'язок та взаємодію лісу і середовища.

Німецький учений Е.А. Мітчерліх (1874 – 1956) у 1909 р. запропонував концепцію сукупного впливу чинників на продуктивність біоценозів. У подальшому цю концепцію доповнили Б. Бауле й А. Тінеман. Вона дістала назву *закону сукупної дії чинників Мітчерліха — Тінемана — Бауле*, який є одним з основних постулатів екологічного землеробства.

Великим теоретичним узагальненням стало вчення про *сукцесії* (зміни угруповань живих організмів), розроблене в 1916 р. американським природодослідником Ф.Е. Клементом. Інший американський вчений А. Лотке у науковій праці «Основи біофізики» сформулював принципи математичного підходу до еволюції.

Спираючись на розроблені В.В. Докучаєвим принципи аналізу природи, його геніальний учень В.І. Вернадський (1863 – 1945) створив чітке фундаментальне вчення про біосферу. В 1926 р. було опубліковано його працю «Біосфера», в якій докладно розглянуто й обґрунтовано планетарну роль «живої речовини», її глобальні функції.

Новими у розумінні принципів комплексності і системності стали дослідження англійського геоботаніка й еколога А. Тенслі, який запропонував термін «екосистема» і його глибоке наукове тлумачення.

За А. Тенслі, *екосистема — це єдиний комплекс живих організмів, насамперед рослин, і абіотичних умов, приурочених до території, зайнятої фітоценозом*. Концепція екосистеми стосується найважливіших теоретичних узагальнень сучасної екології.

Німецький учений К. Троль у 1939 р. запропонував новий науковий напрям — екологію ландшафтів — одне з головних питань агроекології. *Екологія ландшафтів — це розділ екології, що досліджує природні компоненти ландшафту певної природної зони*. Її завданням є вивчення: ландшафтів за допомогою аналізу екологічних відносин між рослинністю і середовищем; структури і функціонування природних компонентів на патологічному рівні; взаємодії складових частин природного комплексу та впливу суспільства на природні складові ландшафту шляхом аналізу балансу речовини та енергії. На цій методологічній основі сформувався один із розділів екології — *геоекологія*, що досліджує екосистеми (геосистеми) високих ієрархічних рівнів — до компонентів біосфери включно.

У 1940 р. В.І. Вернадський сформулював *закон біогенної міграції атомів*, згідно з яким зрозуміти загальні хімічні процеси, які відбу-

валися і відбуваються на поверхні суходолу, в атмосфері і в населених організмами глибинах літосфери і вод, а також у геологічних шарах, утворених минулою діяльністю організмів, неможливо без урахування біотичних і біогенних чинників, у тім числі й еволюційних. У 1944 р. В.І. Вернадський створив знамените вчення про ноосферу, яке стало основою розуміння і вирішення найгостріших проблем взаємодії людини і природи, збереження біосфери.

У 1940-ві роки академік В.М. Сукачов (1880 – 1967) почав розробляти вчення про біогеоценози, в результаті чого було створено науку *біогеоценологію*. Відомо, що термін «біогеоценоз» у закордонній літературі практично не вживається, зазвичай там користуються поняттями екосистема або екосистемологія. Відомі екологи академіки А.Л. Тахтаджян і П.С. Погребняк в своїх працях також не вживали цього терміна. Вагомий внесок у поглиблення вивчення екології зробив В.А. Соловйов, запропонувавши поняття *екологічних парадигм, системи парадигми*. Парадигма (від грец. paradeigma — приклад, зразок) — наукова теорія, втілена в системі понять, яка відбиває істотні ознаки дійсності чи вихідні концептуальні схеми, модель постановки проблем та їх вирішення.

Усвідомивши тривалий процес виникнення, розвитку і становлення екології, можна стверджувати, що вирішення багатьох завдань було зумовлене вимогами сільського господарства, оскільки саме природні чинники є основою, базисом виробництва.

Міждисциплінарні зв'язки та методологічно-світоглядне значення науки

Агроекологія формується як самостійна наука на стиках багатьох дисциплін. Її основою, з одного боку, є природничі науки, що входять у комплекс, загальна екологія, фізика, хімія, морфологія, анатомія, фізіологія, географія рослин, ґрунтознавство, метеорологія, гідрологія, біохімія, генетика, математика тощо, а з іншого — в число виробничих наук про вирощування культур та виробництво продукції тваринництва: землеробство, рослинництво, агрохімія, кормовиробництво, овочівництво, садівництво, селекція, тваринництво та ін. Крім того, агроекологія тісно пов'язана з охороною природи і соціальною екологією. Ведення сільського господарства можна розглядати як управління екосистемою з метою отримання продукції рослинництва і тваринництва, необхідної для харчування людей, та сировини для переробної промисловості.

У більшості країн світу характер сільськогосподарського виробництва визначається пріоритетом споживчої функції. Забезпечення населення продовольством і сировиною потребує значної інтенсифікації усіх галузей сільського господарства, що спричинило деграда-

ційні процеси в агросфері. Коли на початку XX ст. вони ще мали локальний характер, то нині стали широкомасштабними і глобальними, потребують швидкої оптимізації сільськогосподарського виробництва.

Головними негативними наслідками впливу антропогенного чинника на природне середовище є забруднення повітря, води і поверхні землі, а також хижацьке виснаження її мінеральних ресурсів.

Усвідомлення цього становища вимагає зміни екологічної стратегії і тактики. Нині очевидно, що вжиті раніше заходи щодо використання й охорони природних ресурсів явно недостатні і неспроможні захистити навколишнє середовище, насамперед аграрний сектор. На основі методологічних підходів агроекології — моделювання, комплексності і системної парадигми — слід передбачити чітку екологічну орієнтацію усіх ланок науково-технічного прогресу, залучення широкого кола спеціалістів до розв'язання прикладних проблем екології й агроекології, проведення екологічної експертизи, моніторингу, суворого контролю за реалізацією природоохоронних заходів; виховання екологічного світогляду населення.

Об'єкт вивчення та наукова проблематика сільськогосподарської екології. Екологія (від грец. *oikos* — дім або місце проживання і *logos* — наука, вчення) у буквальному розумінні — це наука про організми «у себе дома». Зазвичай екологію визначають як науку про відношення організмів до середовища, що їх оточує. Вона належить до фундаментальних підрозділів біології, які досліджують якості життя на надорганізменому рівні організації. У центрі поняття сучасної екології — концепція екосистеми.

Об'єкти досліджень екології як науки, що вивчає вплив компонентів (елементів) середовища на організми, різноманітні і складні. Компоненти середовища, які впливають на організми рослин або тварин, називають *екологічними чинниками* (світло, температура, вода, повітря, поживні речовини). Угруповання у їх взаємовідносинах із навколишнім середовищем також є об'єктами екологічних досліджень.

Загальноприйнятого визначення поняття «агроекологія» ще немає.

У словнику-довіднику «Природовикористання» (М.Ф. Реймерс, 1990) зазначається: агроценологія (агроекологія) — наукова дисципліна про агроценози, що як центральний об'єкт розглядає вид або сорт, заради якого створюється агроценоз.

У тлумачному термінологічному словнику «Екологія та охорона навколишнього середовища» (1998) агроекологією (сільськогосподарською екологією) названо розділ прикладної екології, що вивчає вплив чинників середовища (біотичних і абіотичних) на продуктивність культурних рослин, а також структуру й динаміку угруповань

організмів, які живуть на сільськогосподарських полях, вплив агробіоценозів на життєдіяльність культурних рослин.

На нашу думку, ці визначення є дещо обмеженими й однобічними. В них недостатньо висвітлені багатопланові питання взаємодії агропромислового комплексу з навколишнім середовищем, природна й антропогенна обумовленість таких зв'язків.

Більш вичерпним є визначення В.А. Чернікова та ін., наведене в підручнику «Агроекологія» (2000).

Агроекологія — це комплексна наукова дисципліна, яка вивчає взаємодію людини з навколишнім середовищем у процесі сільськогосподарського виробництва, вплив сільського господарства на природні комплекси та їх компоненти, взаємодію між компонентами агроекосистем і специфіку колообігу в них речовин, перенесення енергії, характер функціонування агроекосистем в умовах техногенних навантажень.

Цілі агроекосистем: забезпечення стійкого виробництва якісної продукції, максимальне використання природного біоенергетичного потенціалу агроекосистем, збереження і відтворення природно-ресурсної бази аграрного сектору, виключення і мінімізація негативного впливу на навколишнє середовище.

Предметом вивчення агроекології є штучні фітоекосистеми (посіви і насадження сільськогосподарських культур, тваринницькі ферми та комплекси, а також аграрні ландшафти у взаємозв'язку з середовищем проживання). Агроекологія розглядає системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур, виробництва продукції тваринництва з погляду витрачання і відтворення природних ресурсів, оцінює обґрунтованість екологічних рішень. Вона має розробляти теоретичні основи для екологічно безвідходного і нешкідливого виробництва продукції рослинництва і тваринництва, таке формування агроландшафтів, щоб вони зберігали гармонійну рівновагу з біосферою.

Відомо, що потенційна, генетично обумовлена продуктивність сучасних сортів культурних рослин досить висока. Для зернових вона досягає 200 – 300 ц/га, для цукрових буряків і картоплі — 1200 – 1300 ц/га. В умовах реального виробництва в агроекосистемах реалізується тільки 15 – 30 % потенційної продуктивності. Недоотримання 85 – 70 % потенційного врожаю може бути спричинене також обмежувальною дією екологічних і ценотичних чинників. Отже, агроекологія в доповнення до сільськогосподарської практики має великі можливості щодо забезпечення зростання виробництва сільськогосподарської продукції нарівні з генною інженерією, біотехнологією виробництва. Причому цей ріст не супроводжуватиметься шкідливими для природного середовища побічними ефектами.

Головне і, мабуть, кінцеве завдання сільськогосподарської екології — знайти формулу найоптимальнішого співвідношення у вирощуванні рослин і тварин за певних умов середовища. Мірилом цього співвідношення є врожай, продуктивність тварин, які крім кількісних показників характеризуються високою якістю продукції, чистотою навколишнього середовища.

Методи досліджень

Агроекологія як розділ екології вивчає специфіку різних середовищ життя і взаємозв'язки організмів та середовища з метою керування чисельністю популяцій як в умовах природних, так і культурних біоценозів (агробіоценозів). Для вирішення своїх завдань вона використовує методи і досягнення багатьох суміжних наук, що дало їй змогу розв'язати специфічні проблеми і стати теоретичною основою охорони сільськогосподарських угідь.

Методи екології умовно поділяють на три основні групи: *спостереження в природі*, *експеримент* і *моделювання*.

Агроекологічні дослідження зазвичай є *польовими* (стаціонарними або маршрутними) і *лабораторними*.

Під час проведення польових досліджень агроеколог має змогу не тільки спостерігати за життєдіяльністю організмів у реальних умовах, а й широко використовувати природний і штучний експеримент, за якого організм завжди потрапляє в незвичні умови, виявляє окремі боки своєї життєдіяльності. У польових дослідах поєднані різні типи і методики досліджень. Наприклад, визначають видовий склад об'єктів живлення, ворогів, паразитів та інших організмів, з якими вид, що вивчається, знаходиться в тих чи інших взаємовідносинах.

У лабораторних умовах часто застосовують фізіологічні й агрохімічні методи (здебільшого для вивчення відношення організму, який досліджується, до абіотичних чинників). Проте основою агроекології є кількісні методи досліджень.

Еколог вивчає організми в біоценозі: досліджує середовище проживання — біотопи, кормові ресурси, живлення і розмноження організмів, їх добове і сезонне життя, що визначає міграцію. Агроекологія організмів виявляється в чисельності (щільності) популяцій, яка підлягає складній сезонній і багаторічній динаміці. Методи кількісного обліку організмів різноманітні і залежать від середовища проживання та характеру об'єкта — його розміру, рухливості, способу життя тощо. Розрізняють суб'єктивний і об'єктивний облік. *Суб'єктивний облік* є приблизною оцінкою чисельності організмів, виражений у невизначених термінах «багато», «середньо», «мало», або в одиницях різних шкал, балах тощо. За такою методикою результати обліку,

проведеного різними дослідниками, можуть певною мірою не збігатись, а іноді виявляються непорівнюваними через суб'єктивні погляди спостерігачів на характер щільності організмів.

На відміну від суб'єктивного, *об'єктивний облік* характеризується максимальним наближенням до справжнього положення.

Облік організмів може бути *візуальним* (окомірним) та *інструментальним* (за допомогою приладів різних ступенів складності й точності).

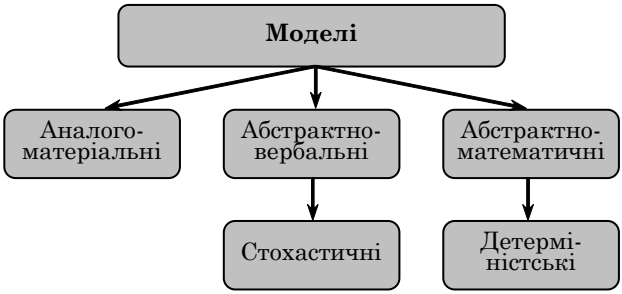
Розрізняють *повний* і *вибірковий облік* організмів, а також *лінійний*, *ділянковий* і *об'ємний*. Лінійний облік застосовують для реєстрування особин, що трапляються на маршруті, яких спостерігач визначив у межах видимості. Ділянковий — для підрахунку всіх організмів, які проживають на земній поверхні, дні водойм, паразитують на тваринах і рослинах, тощо. Об'ємний — залежно від товщини шару води і ґрунту.

В останні роки для вирішення агроекологічних проблем часто вдаються до *методу моделювання*. Як модель матеріальна копія об'єкта екології зазвичай до певної міри спрощена. Наприклад, акваріум можна розглядати як модель ставка. На таких моделях отримують чимало корисної інформації, але загалом їх значення в екології порівняно обмежене. Реальні екосистеми — багатовидові, комплексні об'єкти, тоді як їхні моделі — значно спрощені, часто виявляються досить дорогими і потребують багато часу. Інший рід матеріальних моделей — реальні об'єкти природи, спеціально виділені для вивчення — «модель особини», «модель популяції» та ін.

Ширше в екології використовують абстрактні моделі. Залежно від апарату дослідження абстрактні моделі поділяють на вербальні, графічні і математичні.

Вербальні моделі є суто словесними описами елементів і процесів екосистеми. Вони непридатні для дослідження й прогнозування систем, але в самому процесі моделювання відіграють важливу роль. Чим ближча вербальна модель до реальної, тим точніше вона відбиває суть екологічної системи, тим правильнішими виявляються створені на її основі матеріальні та інші моделі. Успіх конструювання вербальних моделей безпосередньо залежить від рівня екологічної освіти дослідника, точності використання ним термінів і понять екології.

Графічні моделі — це схематичні зображення компонентів системи і зв'язків між ними. Для дослідження екологічних і агроекологічних процесів досить широко застосовують абстрактні моделі. Ю.А. Злобін (1998) вважає основними видами моделей, які застосовують у дослідженнях, аналого-матеріальні, абстрактно-вербальні, абстрактно-математичні:



Математичні моделі описують екологічну систему одним чи кількома математичними виразами. Так, математична модель росту популяцій у момент часу t має такий вигляд:

$$P(t) = P_0 \frac{rt}{e},$$

де P_0 — початкова чисельність популяції; e — основа натурального логарифма; r — швидкість росту популяції; t — час; $P(t)$ — чисельність популяції в момент часу t.

У цій моделі ріст популяції повністю визначається параметрами P_0, r і t. Тому її називають *детерміністською*. Проте біолого-екологічні процеси рідко коли мають тверду визначеність. Частіше вони залежать від випадкових, стохастичних коливань значень якогось одного чи кількох параметрів певної системи. Так, стохастичний характер має освітленість протягом доби через непередбачуваний рух хмар, цілком випадковим є відвідання комахою-запилювачем певної квітки тощо. Введення стохастичного компонента в математичні моделі, як з'ясувалося, збільшує їх відповідність реальності, підвищує вірогідність прогнозів. Моделі такого роду називають *стохастичними*. Для їх реалізації в математичні вирази включають змінні величини, значення яких мають випадковий характер і лежать у межах певної амплітуди.

Використання математичних моделей потребує досить вільного володіння екологом математичним апаратом. До розрахунків сьогодні широко залучені ЕОМ та професійні програмісти.

Математичні моделі є потужним інструментом сучасної екології, однак метод абстрактного моделювання має і свої вади. Екологічна інтерпретація математичних виразів, отриманих після перетворення вихідних даних, часто досить непроста. Складні математичні моделі вкрай важко вирішуються, а прості — надто спрощують реалії природи і дають тривіальні результати. Досвід роботи за міжнародною біо-

логічною програмою підтверджує недоцільність моделювання цілих екосистем, оскільки це потребує великих матеріальних затрат і багато часу. Так, розробка моделі низькотравних прерій у США зайняла 8 років, над нею працювало 200 учених із США та закордонних країн, а загальні витрати досягли 10 млн доларів. Доцільніше моделювати окремі підсистеми. До того ж досить великі системи, такі як біосфера, практично неможливо моделювати через велику кількість зв'язків, що є в них, та високу значущість випадкових чинників.

Системна парадигма — методологічні основи науки

В останні роки сформувалося загальне поняття, що подальший розвиток екологічних досліджень неможливий без застосування системного підходу і моделювання. Ефективне використання системного аналізу і синтезу забезпечується при розгляді прийомів досліджень і побудови відповідних систем у нерозривній цілісності, єдності і взаємопроникненні. Для таких досліджень створено методологічну концепцію — *системний підхід*. В її основу покладено вчення про системи. Термін «система» вживають у науці і повсякденній практиці для позначення упорядкованих взаємозв'язків якихось елементів чи процесів.

Важливою особливістю системної організації досліджень, як зазначав Г.І. Швебс (1982), є розгляд об'єкта насамперед як цілого у структурному і функціональному відношеннях з урахуванням взаємозв'язків його із зовнішнім середовищем, а потім розділення його на складові, виділення нехарактерних підсистем, розгляд найважливіших зв'язків і процесів у них. Це передбачає створення ієрархічних систем, причому дія підсистеми вищого рівня визначається вихідними величинами, які впливають на цю систему загалом.

Першу спробу застосування системного аналізу в природознавстві зробив основоположник генетичного ґрунтознавства В.В. Докучаєв. На його думку, найважливішим завданням має бути пізнання тих співвідношень і взаємодій живого, постійного і завжди закономірного зв'язку, які, безсумнівно, є між усіма силами, явищами і тілами природи. Пізнання і виявлення законів, які керують світом, водночас є найпевнішим засобом оволодіти згаданими силами, явищами і тілами, спрямувати їх на службу на благо людства.

В.В. Докучаєв на прикладі ґрунту і процесів його утворення довів складну, різнобічну і суперечливу взаємодію різних сил і тіл природи. Природні компоненти у нього не тільки зв'язані воєдино матеріально, а й постійно взаємодіють один з одним, у результаті чого в природі безперервно створюється нове тіло — ґрунт, який змінюється і розвивається.

Метод досліджень В.В. Докучаєва полягає в комплексному охопленні різноякісних природних об'єктів і явищ, виявленні інтеграль-

ного зв'язку об'єкта і процесів його розвитку, є ключем до синтетичної концепції стосовно біосфери Землі.

Вчення про системи розвинув і поглибив російський дослідник В.А. Соловйов (1982). Він схарактеризував дві основні особливості системної парадигми: *моністичність*, що забезпечує єдиний підхід до вивчення будь-яких природних комплексів, включаючи рослини, тварини, мікроорганізми, людину і природне середовище; *системність*, що подає екосистему як один із видів системи взагалі і створює умови для застосування загальної теорії систем і кібернетики з їх розвиненими потужними математичними методами до екологічних об'єктів.

Агросфера як складова біосфери, чинник добробуту людства та одна з причин екологічної кризи. Як уже зазначалося, вчення про біосферу створив В.І. Вернадський. Біосфера (від грец. *bios* — життя і *spharia* — куля) — нижня частина атмосфери, вся гідросфера, верхня частина літосфери, яка є зоною існування і функціонування живої речовини або зачеплена життедіяльністю живих організмів (у тім числі в історичному минулому); активна оболонка Землі, в якій сукупна діяльність живих організмів проявляється як геохімічний чинник планетарного масштабу. В межах цієї глобальної екосистеми взаємодіють жива і нежива речовини.

Найважливішими компонентами біосфери є жива речовина (рослини, тварини і мікроорганізми), біогенні речовини (органічні й органо-мінеральні продукти, створювані живими організмами упродовж геологічної історії — кам'яне вугілля, нафта, торф та ін.), неживі речовини (атмосфера, гірські породи неорганічного походження, вода); безживні речовини (продукт синтезу живого і неживого, тобто осадові породи, ґрунт, мул).

Сільськогосподарською екосистемою найвищого рівня вважають агросферу — поверхню суходолу, залучену до сільськогосподарського виробництва.

Агросфера — продукт сільськогосподарської діяльності людини — головний компонент антропогеоценозів і складова частина біосфери. В усі часи забезпечення продуктами харчування населення Землі, чисельність якого постійно зростає, було найважливішим завданням. І хоча виробництво харчових продуктів у світі неухильно зростає, ця проблема залишається гострою в багатьох країнах.

Із сотень тисяч видів рослин і тварин, що живуть на Землі, лише декілька сотень видів і сортів основних сільськогосподарських культур і порід тварин використовують люди для виготовлення продуктів харчування. Крім того, виробництво і забезпечення населення продуктами харчування значною мірою залежить від випадкових явищ: екстремальних умов погоди (засухи, суховії, морози, град, вимокання та ін.), епіфітотій та епізоотій серед сільськогосподарських рослин і тварин, забруднення навколишнього середовища понад допустимі норми.

Ріст чисельності населення планети спричинює необхідність значного збільшення обсягів продуктів харчування, що призводить до посилення антропогенного тиску на природні екосистеми.

У своєму прагненні взяти від природних ресурсів якомога більше для забезпечення зростаючих потреб суспільства людина в процесі сільськогосподарського виробництва дедалі енергійніше втручається в екологічну рівновагу, яка складалася тисячоліттями. XX ст. ознаменувалося різким прискоренням і посиленням такого вторгнення: вирубування лісів, різке збільшення площ розораних територій, будівництво гігантських гідротехнічних споруд і систем, часто без належного екологічного обґрунтування, зміна екологічних умов існування біоти зростаючими обсягами застосування хімічних засобів (добрива, пестициди тощо). У результаті розвинулись деградація ґрунтового і рослинного покривів, забруднення повітря, ґрунтів, водойм, спустелення, зменшилась біологічна різноманітність на Землі та ін. Людина своєю господарською діяльністю вийшла на глобальний рівень впливу на біосферу. Незважаючи на деяке збільшення виробництва продуктів харчування в розрахунку на душу населення загалом на Землі, в багатьох країнах сотні мільйонів людей недоїдають і сотні тисяч вмирають від голоду.

У матеріалах конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку (Ріо-де-Жанейро, 1992) наведено дані, що прибуток 1,1 млрд жителів Землі становить менш ніж 1 долар США в день.

Екологічна ситуація в агросфері України. Загальний стан сільського господарства в Україні характеризується спадом виробництва продукції, виснаженням землі, різким зменшенням поголів'я худоби, погіршенням матеріально-технічної бази.

У спадок від XX ст. в багатьох випадках нам дісталася важка екологічна ситуація внаслідок екстенсивного, масово безграмотного і хижацького використання природних ресурсів, серед яких унікальним багатством є земля. Адже в Україні близько 28 % світової площі найбільш родючих земель — чорноземів і всього 0,1 % населення планети. Водночас у нас надзвичайно гострим є питання забезпечення його харчовими продуктами.

Переплетення економічних, соціальних і екологічних проблем породжує необхідність пошуку шляхів виходу з цієї затяжної кризи.

Фізичне знищення геобіоценозів і агроландшафтів на території будь-якої держави є великою трагедією. В Центральній Європі тільки Україна має класичну модель знищення геобіоценозу на території, що перевищує 1 млн га. Йдеться про створення шести водосховищ Дніпровського каскаду (Запорізьке, Каховське, Кременчуцьке, Дніпродзержинське, Київське, Канівське).

Небачених масштабів із часів останнього льодовикового періоду (18 тис. років тому) набули геологічні процеси розмивання берегової

лінії і переміщення мас землі; площа підтоплених земель сягає 1 млн га, а затоплених — 260 тис. га.

До фізичного виведення з ладу на невизначений час слід віднести часто непродумане, неконтрольоване відведення земель під несільськогосподарське використання. За останні 60 років їх вилучено 3,3 млн га.

Загрозливою стала деградація ґрунтового покриву, що пов'язано з процесами водної і вітрової ерозії, переущільненням ґрунту, погіршенням його якісного складу. Основною причиною багатьох деградаційних процесів є тотальна розораність земель України. За даними В.Ф. Сайка (2000), розораність сільськогосподарських угідь в Україні сягає 82 %. Для порівняння: в ФРН — 32 %, у Великій Британії — 18,5, у США — 20 %.

Екологічна деградація, спричинена людською діяльністю, найбільш відчутно зачепила береги і басейни малих річок України, що є основною структурною одиницею українських агроландшафтів. Малі річки часто стають причиною екологічних катастроф, коли внаслідок змивів або паводків їх замулені русла неспроможні пропустити критичну масу атмосферних чи талих вод. В усіх ґрунтово-кліматичних зонах погіршується якість землі — знижується вміст гумусу (за останні 10 років гумусний фонд України зменшився на 10 – 14 %). Нині в ґрунті не вистачає азоту, в орному шарі дедалі знижується вміст рухомих форм фосфору і калію, збільшуються площі підкислених і засолених ґрунтів.

Величезних масштабів набуло забруднення навколишнього середовища.

Найбільшу загрозу несуть у собі відходи виробництва і побутові. Вони нагромадились в Україні на площі 160 тис. га загальним об'ємом 25 млрд т зі щорічним надходженням близько 2 млрд т. Дуже небезпечним залишається радіонуклідне забруднення, що сталося внаслідок чорнобильської катастрофи, — площі з рівнем забруднення радіонуклідами понад 1 Кі/км^2 становлять близько 9 млн га. Величезні території землі забруднені важкими металами. Загалом в Україні потребує оздоровлення від різних видів забруднення близько половини сільськогосподарських угідь.

Стратегія сталого розвитку агропромислового комплексу

Серйозним міжнародним актом занепокоєння міжнародної спільноти розвитком екологічної і соціально-економічної кризи на планеті Земля стала конференція ООН, на якій розглядали питання навколишнього середовища і розвитку. Вона відбулася в Ріо-де-Жанейро в 1992 р., на ній чітко було сформульовано головну тезу

про єдність навколишнього середовища і соціально-економічного розвитку людського суспільства на Землі. Підкреслено, що держави мають узгоджувати свої рішення і політику з урахуванням наслідків для навколишнього середовища.

Головною проблемою землеробства XXI ст. в Україні, особливо першої його половини, буде забезпечення належної продовольчої бази країни і звільнення від продовольчої залежності шляхом виробництва власної конкурентоспроможної продукції як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках, продукції, доступної споживачу.

Найістотнішим чинником вирішення проблеми землеробства майбутнього є його стабілізація. Земля має використовуватись з урахуванням інтересів рослинництва і тваринництва, захисту навколишнього середовища від забруднення. Виходячи з політичних, соціальних, економічних, енергетичних, матеріальних і екологічних умов площу оброблюваних земель в Україні треба зменшити щонайменше на 10 млн га порівняно з 1990 р. і перевести їх у природні кормові угіддя.

У рослинництві дуже важливо підвищити рівень використання фотосинтетично активної радіації (ФАР), адже це єдина галузь, яка здатна виробляти хімічну енергію завдяки унікальним фотосинтетичним властивостям рослин. Акумульована ними сонячна енергія переходить у продукти харчування і сировину для промисловості, задовольняє потреби людей.

Вирощування сільськогосподарських культур, як і виробництво спеціальної продукції, матиме регіональний характер, їх розміщують з урахуванням агробіологічної доцільності.

Майбутнє — за технологіями, які стануть головною ланкою виробничого процесу. Основним напрямом вдосконалення технологій буде впровадження нових високоврожайних сортів, які краще окуповують затрачені на них ресурси, реалізація наукових розробок у галузі молекулярної генетики, біотехнології сільськогосподарських рослин і тварин.

Технології вдосконалюватимуться також шляхом мінімізації, застосування комбінованих агрегатів.

Особливістю вдосконалення технологій стане освоєння нової (альтернативної) системи удобрення, що забезпечить високу ефективність поживних речовин і мінімальний негативний вплив на довкілля.

Відтворення родючості й охорона ґрунтів залишаться головними чинниками стабілізації землеробства. Саме зменшення площі ріллі забезпечить охорону і збереження землі для майбутніх поколінь.

Насичення ґрунтів органічною речовиною і надалі залишатиметься одним із основних джерел поповнення запасів поживних речовин, важливим чинником землекористування. В умовах інтенсифікації землеробства переважна частина побічної продукції буде використа-

на як органічне добриво. Значно збільшиться використання зелених добрив (сидератів), які не лише збагачують ґрунт поживними речовинами, а й сприяють фітосанітарному оздоровленню його. Зростуть обсяги застосування технологій, що забезпечують азотофіксацію, біологічний захист рослин від бур'янів, шкідників і хвороб. Раціональніше використовуватимуть мінеральні добрива, їх вноситимуть сумісно з органічними і не суцільно, а локально.

Більше застосовуватимуть альтернативні системи землеробства — біодинамічну, органічну, біологічну тощо.

Інтенсивне використання землі неможливе без меліорації ґрунтів. Площі зрошуваних і осушених земель не розширюватимуть, а сконцентрують ресурси для піднесення продуктивності існуючих систем.

Великого значення надаватимуть заліснення, його захисним, водоохоронним, санітарно-гігієнічним, рекреаційним функціям з урахуванням народногосподарських потреб.

Спираючись на викладений матеріал, можна констатувати, що агроекологія стає важливою наукою, спроможною дати відповідь на питання, які постають перед людиною у її співжитті з природним середовищем.

Завдяки комплексному системному підходу агроекологія, як і екологія загалом, є єдиною безальтернативною теоретичною базою сталого розвитку АПК, усього природокористування. Практика показала, що ігнорування законів природи призводить до непередбачуваних негативних наслідків.

Агроекологія досить тісно пов'язана із соціальною сутністю людини. Кожна людина прагне споживати екологічно чисті продукти харчування, пити чисту воду і дихати чистим повітрям, проте у вирішенні цих питань є багато проблем.

Потрібен цілеспрямований перехід від суто технократичної політики до грамотного поєднання досягнень науково-технічного прогресу з принципами концепції безперервного (сталого) еколого-економічного розвитку людського суспільства при організації і здійсненні різних видів виробничої діяльності в сфері агропромислового комплексу. Розглянуті проблеми покликана вивчати і вирішувати сільськогосподарська екологія (агроекологія).

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає суть концепції екологічної освіти та виховання? **2.** Яка роль українських учених у розвитку науки екології? **3.** Назвіть основні причини екологічної кризи в Україні і запропонуйте шляхи її подолання. **4.** Які методи використовують для екологічних досліджень? **5.** Розкрийте суть поняття «системна парадигмо-методологічна основа науки». **6.** Висвітліть зміст і значення курсу агроекології. Як ця наука пов'язана з іншими дисциплінами?





Розділ 1

ЕКОЛОГІЯ ПОПУЛЯЦІЙ ТА УГРУПОВАНЬ

1.1. Популяції

Екологія популяцій (демекологія), як уже зазначалось, — це розділ загальної екології, що вивчає структурні та функціональні характеристики, динаміку, статевий і віковий склад, чисельність, генетичну цілісність, положення в екосистемі, умови, за яких формується популяція.

Популяцією називають сукупність особин одного виду, які відтворюють себе протягом дуже багатьох поколінь, тривалий час заселяють певну територію, функціонують і розвиваються в одному або кількох біоценозах. Кожен існуючий у природі вид є складним комплексом (системою) внутрішньовидових груп зі специфічними будовою, фізіологією і поведінкою. В популяціях виникають перебудови, які далі поширюються на угруповання. Наприклад, відновлювальні зміни рослинних угруповань по суті є змінами популяцій рослин з різними життєвими циклами. Члени однієї популяції впливають один на одного не менше, ніж фізичні чинники.

Еволюційні зміни — це явища, що стосуються популяцій і систем популяцій. У найпростішій формі еволюція відбувається в межах локальних відтворювальних популяцій. Це *мікроеволюція*. Локальну відтворювальну популяцію слід розглядати як старт до мікроеволюції. Популяції та популяційні системи краще уявляти у вигляді ієрархії — від випадкових схрещувань групи до виду.

Схрещувана популяція — це популяційна одиниця, яка має деяку локальну протяжність у безперервній ієрархії.

Вичерпне визначення популяції дав Г.А. Новиков. На його думку, *екологічна популяція* — це сукупність особин одного виду, яка склалася природно або за участю людини, об'єднана спільною більшою чи меншою територією, відомою генетичною спорідненістю, належністю до однієї або кількох конкретних екосистем. Особини популяції характеризуються однотипними зовнішніми ознаками, подібними адаптаціями, єдиною специфічною реакцією на дію чинників середовища, своєрідним типом динаміки чисельності, демографічною і територіальною структурою, спільним біологічним сигнальним полем, що загалом забезпечує популяційний гомеостаз, самостійне існування і розвиток упродовж тривалого часу, що супроводжується відповідною взаємодією із середовищем існування і впливом на нього.

Популяції можуть бути різноякісними за найрізноманітнішими показниками: способами розмноження і ступенем щільності, морфологічними, фізіологічними та іншими параметрами.

Як надорганізмена система популяція забезпечує виду потенційне «безсмертя» — пристосувальні можливості в популяції значно вищі, ніж в індивідуумів, що її утворюють.

Популяція як біологічна одиниця має певні структуру і функції.

Під *структурою популяцій* розуміють склад особин і їх розміщення в екологічних нішах.

Реально існуючі популяції досить різноманітні за величиною та формою. Структура популяцій утворена чотирма головними компонентами: їх величиною, просторовим розміщенням, системою та швидкістю розмноження.

Популяція як групове об'єднання має специфічні властивості або певну біологічну структуру, яка нехарактерна для кожної окремо взятої особини. Це чисельність і щільність, смертність, розподіл особин за віком, характером розміщення в межах екосистеми чи угруповання, вікові і статеві структури, поліморфізм, ефект групи, росту, тобто *екологічні ознаки*.

Основні показники біологічної структури популяції — чисельність і щільність. *Чисельність* — це загальна кількість особин на даній території або в певному об'ємі. Вона ніколи не буває сталою і залежить від зовнішнього середовища, біотичних взаємовідносин і біотичного потенціалу. *Біотичним потенціалом* називають внутрішню властивість популяції та її здатність до збільшення чисельності за стабільного вікового складу й оптимальних умов середовища. *Популяційний гомеостаз* — це самостійне існування і розвиток упродовж тривалого часу особин популяції, що супроводжується відповідною взаємодією із середовищем існування.

Популяція є також екологічною одиницею. Її складові — особини, генотипно подібні за екологічною толерантністю, що займають певну ділянку в тій чи іншій екологічній ніші або із подібними вимогами до умов середовища.

Отже, підтримання оптимальної в певних умовах чисельності особин називають *гомеостазом популяції*, який здійснюється через взаємовідносини компонентів системи.

Щільність популяції — це число особин або кількість біомаси на одиницю площі чи об'єму (наприклад, 5 млн рослин озимої пшениці на 1 га). Це змінний показник, що залежить від чисельності популяції. Особини в популяції можуть розміщуватись рівномірно, випадково і групами.

Народжуваністю називають здатність популяції до збільшення чисельності особин. Вона може бути нульовою або позитивною, але ніколи не буває негативною.

Вікова структура популяції характеризує співвідношення окремих особин за віком, фазами розвитку. Для кожного виду, а інколи й для кожної популяції всередині виду характерні свої співвідношення вікових груп.

Статева структура популяції, особливо частка самок, що розмножуються, має велике значення для подальшого росту чисельності популяції.

Нормативний розвиток багатьох видів можливий лише в разі об'єднання їх у різні групи. Поліпшення фізіологічних процесів, що ведуть до підвищення стійкості і життєздатності особин за сумісного існування, називають «*ефектом групи*». Позитивний ефект групи виявляється до якогось оптимального рівня щільності популяції. Занадто велика кількість особин призводить до нестачі ресурсів, падіння народжуваності, деградації. Популяції властиві ріст, розвиток, здатність підтримувати існування в постійно змінних умовах. Коли середовище не обмежує швидкість росту популяції в даних кліматичних умовах, вона є сталою і максимальною упродовж популяційних циклів. Змінюються не тільки чисельність, а й вікова і генетична структури, фізіологічні властивості особин, інші популяційні параметри.

Під час вивчення природних і створених людиною популяцій треба розрізняти сезонні зміни їхніх параметрів, які регулюються в основному онтогенетичними адаптаціями, пов'язаними із сезонними змінами чинників середовища, а також річними відхиленнями цих величин від середнього значення.

1.2. Угруповання

Взаємодія на популяційному рівні відбивається на наступному, вищому рівні організації живих організмів — угруповань.

Під *угрупованням* розуміють поєднання популяцій різних видів, що існують у просторі і часі.

Угруповання — збірне поняття, яке стосується сукупності взаємодіючих живих організмів будь-якого рангу. Одним із найвичерпніших є визначення Р. Уіттекера (США, 1970), який угрупованням вважає сукупність популяцій рослин, тварин і мікроорганізмів, що взаємодіють один з одним у межах даного середовища і створюють особливу живу систему з власними складом, структурою, взаємовідносинами із середовищем, розвитком і функціями. Найменшою одиницею, до якої можна застосувати термін «угруповання», є біоценоз, який займає певний біотоп. Угруповання — це сукупність взаємопов'язаних видів, що проживають на певній території, на яких впливає комплекс умов існування. Рослинні угруповання, або фітоценози, й угруповання тварин, або зооценози, розглядають окремо, але вони об'єднані спільною назвою — біоценоз.

Біоценоз (від грец. *bios* — життя і *koinos* — загальний) за Б.А. Биковим — це стійка система сумісно існуючих на певній ділянці суходолу або водойми популяцій автотрофних і гетеротрофних організмів (біота) і створеного ними біоценотичного середовища (в тім числі ґрунту, сапропелів, фітоклімату). Поняття «біоценоз» у 1877 р. запропонував німецький зоолог К. Мобіус як сталу систему організмів (біоти) та створеного ними біоценотичного середовища.

Біоценоз є продуктом природного добору. Його виживання, стійке існування в часі і просторі залежить від характеру взаємодії складових популяцій і можливе лише за обов'язкового надходження сонячної енергії іззовні. Жоден біоценоз не може успішно розвиватися сам по собі незалежно від середовища. В екосистемі біоценоз функціонує як продуктивна система, здатна до саморегулювання і відновлення.

Біомасу наземних біоценозів утворюють переважно вищі рослини (продуценти). На масу тварин (консументів) припадає лише 0,001 – 0,01 % загальної біомаси; дещо більша біомаса мікроорганізмів і грибів. Угруповання має не тільки функціональну єдність із характерною структурою трофічних зв'язків і енергетичного обміну, а й деяку композиційну єдність, що забезпечує існування певних видів. Проте види значною мірою заміщують один одного в часі і просторі, тому функціонально подібні угруповання можуть мати різний видовий склад. Угруповання — не просто сукупність видів, що утворю-

ють його, а й сукупність взаємовідносин між ними. Угруповання підлягають власним законам зложення, функціонування і розвитку, тобто вони є природними системами.

Для агроекології важливими є процеси *сукцесії*, тобто низка послідовних змін рослинних угруповань у часі, що формуються на ділянках, позбавлених рослинності. Сукцесії бувають *первинні* і *вторинні*. В первинних рослинний покрив відсутній взагалі, у вторинних — частково збережений. Розрізняють також *антропогенну* і *ендоекогенетичну* сукцесії. Перша пов'язана з господарською діяльністю людини, друга — зумовлена впливом самого рослинного угруповання, що поступово змінює середовище існування внаслідок формування фітосередовища, фітоклімату, кореневих виділень тощо.

Сукцесії перебувають у стані внутрішньої рухомої рівноваги, постійно змінюються. Ці зміни можуть бути зворотними і незворотними, у тім числі й еволюційними. Вони ведуть до формування або відновлення стійкого, стабільного фітоценозу чи, навпаки, до дегресій — погіршення стану, нестійкості, розпаду. Сукцесії відбуваються в результаті зміни фізичного середовища під впливом самого угруповання. Вони начебто контролюються угрупованнями. Водночас фізичне середовище визначає характер сукцесії, швидкість змін і нерідко межі розвитку. Функціональним показником зрілості екосистеми може слугувати співвідношення синтезу і дихання рослин.

Від сукцесій (незворотних змін) слід відрізняти *флуктуації* — форму модифікацій, що полягають у плавній, дуже повільній зміні ознак із незначним відхиленням їх від середньої величини, щорічні зміни рослинного угруповання, що визначаються зміною з року в рік метеорологічних умов та інших особливостей біотопу.

Вікові зміни фітоценозів відбуваються дуже повільно і захоплюють великі території; вони пов'язані з кліматичними змінами, змінами флористичного складу та іншими процесами, малопомітними упродовж десятиліть і навіть століть.

Угруповання зазвичай формують власну структурну організацію, основним показником якої є число видів, що утворюють його, та їх відносна чисельність. Найпростішим параметром угруповання, який враховує число видів і співвідношення їх чисельності, є *індекс різноманітності Симпсона*.

Серед видів, які утворюють угруповання, виділяють *домінантні*, тобто ті, що переважають (кількісно або за масою) в угрупованнях (фітоценозах). Вони різняться інтенсивністю росту й розвитку, значно змінюють умови зростання і тим самим обмежують існування в угрупованні багатьох організмів.

Різним систематичним групам організмів властиві свої домінанти. Види, які живуть за рахунок домінантних, називають *переддомінантами*, домінанти, які визначають характер і структуру угруповання — *едифікаторами*. Вони становлять основу біоценозів і відіграють основну роль у створенні біоценотичного середовища в екосистемах. Едифікатори — це в основному рослини, наприклад, у соснових лісах — сосна, у степових ценозах — ковила, типчак, на луках — костриця лучна, лисохвіст лучний тощо.

Запитання для самоконтролю

1. Дайте визначення терміна «популяція». **2.** Перелічіть основні показники біологічної структури популяцій. **3.** Що таке угруповання? **4.** Схарактеризуйте домінантні види.





Розділ 2

АГРОЕКОСИСТЕМА

2.1. Поняття про агроекосистему

У процесі взаємодії з природою людство постійно вирішувало першочергове завдання життєзабезпечення — виробництва продуктів харчування, що є єдиним джерелом отримання людиною внутрішньої енергії. Тому не випадково однією з найдавніших галузей не тільки сільськогосподарського виробництв, а й виробничої діяльності людини загалом є землеробство.

Процес переходу від накопичення сільськогосподарських знань до примітивних, а згодом дедалі більш удосконалених систем землеробства та методів ведення сільського господарства загалом, стимулював ріст виробництва продовольчих ресурсів, сприяв збільшенню значення аграрного сектору в формуванні первинної фітобіологічної продукції. Біомаса людей порівняно з доагрокультурною епохою значно зросла. В сучасній біосфері в антропогенний канал, створений людьми і свійськими тваринами, надходить $1{,}6 \cdot 10^{16}$ Вт енергії, що становить ~25 % загальної первинної продукції рослин. Значне збільшення первинної продукції, яку споживає людство, відбувається вже не тільки за рахунок сонячної енергії, а й під впливом додаткових енергетичних джерел. Близько 95 % сухої речовини рослин створюється в процесі фотосинтезу за участю сонячної енергії, а сама продуктивність агроценозів забезпечується насамперед за рахунок вільного перебігу в рослинах і ґрунті біологічних процесів. «Антропогенна енергія», що надходить в агроекосистеми, не замінює (і не може замінити) кіль-

кість сонячної енергії, а є своєрідним каталізатором, що стимулює активніше її використання (засвоєння).

Вивчення агроекології потребує фундаментальних знань структури природних екосистем, продукту «творчої» діяльності самої природи. Без розуміння особливостей організації природних екосистем неможливо оцінювати агроекосистеми.

Під *сільськогосподарською екологічною системою* (агроекосистемою) розуміють природний комплекс, змінений (трансформований) сільськогосподарською діяльністю людини. *Агроекосистема* — це штучна або змішана система рослинних, тваринних і мікробіологічних угруповань з невираженим або відсутнім механізмом саморегулювання, проектна продуктивність яких підтримується за рахунок прямих і опосередкованих енергетичних інвестицій, при припиненні або критичному зниженні яких вона деградує, втрачає свої проектні властивості. Розділ екології, що вивчає екологічні системи, називають *синекологією*.

Отже, агроекосистема є несталою системою агроценопопуляцій культивованих рослин на оброблюваних ґрунтах із певним складом, структурою й режимом, які підтримуються і регулюються сільськогосподарськими працівниками; за відсутності такого контролю поступово втрачає свої властивості.

Під *екологічною системою* (екосистемою) розуміють цілісну природну одиницю, що утворилася в результаті взаємодії компонентів груп живих істот і неорганічного середовища їх проживання. Внаслідок цієї взаємодії створюються нова якість і відповідний колообіг речовин та енергії між організмами і середовищем проживання. До природних екосистем належать лише стабільні системи з визначеними трофічною й енергетичною організаціями. Крім того, в певних межах вони характеризуються саморегуляцією. Екосистему зазвичай визначають як сукупність живих істот та умов середовища:

Екосистема = Біотоп + Біоценоз.

Концепцію біогеоценозу розробив В.М. Сукачов (1942). Згідно з його визначенням, біогеоценоз (від грец. *bios* — життя, *ge* — земля, *koinos* — загальний) — це сукупність на певній ділянці земної поверхні однорідних природних об'єктів (атмосфери, гірської породи, рослинності, тваринного світу, мікроорганізмів, ґрунту і гідрологічних умов) з особливою специфікою їх взаємодії і певним типом обміну речовиною й енергією між собою та з іншими компонентами природи, що становлять внутрішні протиріччя системної єдності, яка знаходиться в постійному русі, розвитку. Будь-який біогеоценоз є екологічною системою, а конкретна екосистема — біогеоценозом.

2.2. Рівні організації та типи агроекосистем

Штучно створені людиною рослинні угруповання посівом чи висаджуванням культурних рослин, під новою синонімічною назвою (агроекосистема, агроценоз, агробіоценоз, сільськогосподарська екосистема, сільськогосподарський фітоценоз, зооценоз тощо) завжди є збідненим рослинним (тваринним) угрупованням одного чи декількох видів для отримання певної фіто-, зоомаси чистої продукції від автотрофів. До них зазвичай відносять посіви сільськогосподарських культур: зернових, бобових, олійних, технічних, плодових, овочевих, кормових та культурні пасовища; багаторічні насадження: плодові сади, захисні лісонасадження, штучно створенні лісові екосистеми; зооценози: стада сільськогосподарських тварин, тваринницькі ферми, птахоферми, зграйних, водяних тварин, риб; різні культури мікроорганізмів і грибів.

Штучно створені людиною агроекосистеми (біоценози) складаються з певних видів рослин (сортів). Рослини, які зростають на польових ділянках і є сталими елементами агроекосистем, називають *компонентами*. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини полів, городів, садів, тобто едифікатори, про домінантну роль яких дбає людина.

Штучно створені агроекосистеми (біоценози) й зооценози різняться від природних низкою специфічних особливостей. У них різко знижене видове різноманіття організмів. Оскільки на полях вирощують один, рідко — декілька видів рослин, тут значно збіднюється видовий склад тварин і мікроорганізмів у біоценозі. Без постійної турботи людини вирощувані види рослин, що виведені й дібрані нею, неспроможні виграти боротьбу за існування з дикорослими видами (бур'янами). Проте в агроекосистемах рослини крім потоку сонячної енергії отримують додаткову енергію від людини, яка створює умови для вирощування культурних видів рослин (обробіток ґрунту, внесення добрив, боротьба з бур'янами, шкідниками, хворобами тощо). Вирощений урожай вилучається і не потрапляє в подальшому у ланцюг живлення й обміну енергією в агроекосистемі. Без належного догляду (повернення) з боку людини в агроекосистемі неминуче відбувається поступове збіднення й деградація її важливої складової — ґрунту.

Кожен тип агроекосистеми у своїй організації має певні компоненти, які беруть участь у створенні цієї динамічної системи. Її компонентами зазвичай є видовий склад рослин, його ярусність, співвідношення надземних і підземних органів, ступінь участі окремих видів у формуванні системи, життєвість окремих видів, рясність вкривання та ін. Агроекосистеми характеризуються обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин, які чинять основ-

ний вплив на формування біотичних особливостей штучної системи. Культурні види вирощують переважно як одновидові популяції. Залежно від умов вирощування, періоду онтогенетичного розвитку та морфолого-фізіологічних особливостей культури її едифікаторна роль різна. Найсильніші едифікаторні властивості мають багаторічні трави. За ступенем ослаблення цих властивостей однорічні культури утворюють такий ряд типів агроекосистем: озимі, ярі колосові, зернобобові, ярі просапні, баштанні, овочеві тощо.

Під *типом агроекосистеми* слід розуміти сукупність окремих агроекосистем, однорідних за компонентним складом середовища та їх динамікою. Як і будь-які безживні системи вони мають багатоступінчасту ієрархічно зумовлену організацію. Сільськогосподарські екосистеми нижчого рівня входять до складу системних утворів вищого рангу і підпорядковані їм.

Найвищою ієрархічною одиницею агроекосистемного рівня є агросфера. До системного складу входять одиниці нижчих рівнів — аграрні ландшафти, які, в свою чергу, є сукупністю польових, пасовищних, фермських екосистем.

Агроекосистеми на відмінну від природних екосистем формують для отримання максимально можливої кількості продукції, яка слугує першоджерелом харчових, кормових, лікарських і сировинних ресурсів, тобто функції агроекосистем в основному обмежуються постачанням засобів життя.

У цьому головна причина кількісної переваги ресурсоємних і природоруйнівних типів агроекосистем.

У сучасних агроекосистемах матеріально-енергетичні, економічні й екологічні процеси виробництва біологічної продукції знаходяться у складних взаємозв'язках. При цьому забезпечується відтворення природного ресурсного потенціалу та ефективне використання антропогенних субсидій енергії. Науково обґрунтована організація агроекосистем передбачає створення раціональної природної і природно-господарської інфраструктури (шляхи, лісові насадження, сільськогосподарські угіддя, канали та ін.), адекватні особливостям місцевого ландшафту і господарському використанню території загалом. Організація агроекосистем має бути наближеною до контурів природних комплексів, що досягається оптимізацією агроландшафту. Проте це тільки видима частина екологічно обґрунтованої агроекосистеми, значно складніші внутрішні процеси масо- й енергообміну, які підтримують ландшафтно-екологічну рівновагу.

В аграрних ландшафтах людина створила природно-технологічні системи для вирощування рослин (теплиці, оранжереї, парники), тварин (корівники, свинарники, конюшні, вівчарні), птиці (птахофабрики), корисних комах (пасіки) тощо.

Теплиці й оранжереї, тваринницькі ферми і комплекси, вулики й акваріуми — це природно-технологічні системи, які функціонують за принципом штучних екосистем. Аналогічно створено космічні апарати для проживання в космосі.

Агросфера — продукт сільськогосподарської діяльності людини — головний компонент антропогеоценозів.

Першу ґрунтовну характеристику антропогеогеоценозів запропонував В.П. Алексєєв.

Антропогеоценоз — система, об'єктами якої є люди, людські поселення й довколишня жива і нежива природа. Антропогеоценоз не обмежується населеним пунктом. Він може поширюватись на всю територію, яку експлуатує населення, на весь простір, що є об'єктом господарської діяльності людини.

Сільськогосподарська екологія знаходиться в стадії розвитку, тому єдиного загальноприйнятого визначення поняття агроекосистеми немає.

М.А. Уразаєв та ін. пропонують такі екологічні терміни для визначення сільськогосподарських екосистем:

- *агросфера* — глобальна екосистема, що об'єднує територію земної поверхні, перетворена сільськогосподарською діяльністю людини;
- *аграрний ландшафт* — екосистема, сформована в результаті сільськогосподарського перетворення ландшафту (степового, пустельного, тайгового тощо);
- *сільськогосподарська екологічна система* (сільськогосподарська екосистема) — екосистема на рівні господарства;
- *агроекосистема* — поле, сад, теплиця, оранжерея;
- *пасовищна агроекосистема* — природне чи культурне пасовище;
- *фермова екосистема* — корівник, свинарник, конюшня, тваринницький комплекс, зоопарк, віварій тощо.

Незважаючи на велику різноманітність, сільськогосподарські екосистеми різних рівнів і ієрархій мають багато спільного. За визначенням М.В. Маркова, основними їх елементами є:

1) культурні рослини, висіяні або висаджені людиною;

2) бур'яни, які потрапили в агроекосистеми всупереч волі людини;

3) мікроорганізми ризосфер культурних рослин і бур'янів;

4) бульбочкові бактерії на корінцях бобових рослин, що зв'язують вільний азот повітря;

5) мікоризотворні гриби на корінні вищих рослин;

6) водорості, бактерії, гриби, актиноміцети, вільноіснуючі в ґрунті;

7) безхребетні тварини, що живуть у ґрунті і на рослинах;

8) хребетні тварини (гризуни, птиці та ін.), які живуть у ґрунті й посівах;

9) гриби, бактерії, віруси — паразити (напівпаразити) культурних рослин і бур'янів;

10) бактеріофаги — паразити мікроорганізмів.

Характерна особливість сільськогосподарських екосистем у тім, що вони є продуктом трансформування природних. Трансформуючи природні екосистеми в сільськогосподарські, людина змінювала живі і неживі компоненти природних комплексів: рослинний і тваринний світ, ґрунт, воду, атмосферу. Рослини природної флори знищували, замінювали на нові, потрібні для задоволення потреб людини. Зникло багато видів рослин, диких тварин, їх замінили свійські.

У сільськогосподарських екосистемах ланцюги живлення залучені в сферу діяльності людини. В них змінена екологічна піраміда, на вершині якої стоїть людина, що є специфічною ознакою будь-якої сільськогосподарської екосистеми. При умовному розгляді агроекосистеми як поєднання природної екосистеми з антропогенною енергією неважко виявити, що питомі затрати енергії в доіндустріальному сільському господарстві були порівнювані з енергозатратами в природних екосистемах. З переходом на інтенсивне ведення сільського господарства енерговикористання набагато зросло.

У сільськогосподарських екосистемах видовий спектр рослин і тварин збіднений. Аграрні і фермські агроценози малокомпонентні.

Антропогенне перетворення природних ландшафтів на аграрні відбувалось упродовж тисячоліть.

Першою системою землеробства була *підсічно-вогнева*, яка в деяких племенах зберігається досі. За такої системи спалюють ліси, а на вивільненій території, вкритій попелом (золою), сіють і вирощують культурні рослини. Через швидке виснаження ґрунтів термін використання таких полів був короткий (до 10 років). Поля, які різко знижували родючість, тимчасово залишали у спокої. В результаті природних процесів вони поступово відновлювали родючість. На цій території знову спалювали ліси і вивільнені ділянки включали у сільськогосподарське використання.

На зміну підсічно-вогневій системі землеробства прийшла *обліжно-перелогова*. Після 5 – 10-річного використання поля покидали і вони поступово перетворювались на облоги і перелоги. З часом їх родючість відновлювалась, польові ділянки звільнялись від бур'янів.

Екстенсивні системи землеробства замінили інтенсивні — *парові*, *сидеральні*, *травопільні*, *плодозмінні*.

Прогрес у рослинництві тісно пов'язаний із розвитком тваринництва. За безперервного використання одних і тих самих полів, городів, садів для отримання на них високих урожаїв потрібно вживати заходів щодо підтримання й відтворення родючості ґрунтів. Для цього їх удобрювали в основному гноєм. Відходи тваринництва

сприяли розвитку рослинництва. Водночас рослинництво — дуже важливий чинник розвитку тваринництва, оскільки фітомасу полів, луків, лісів тощо використовували для годівлі сільськогосподарських тварин.

За розмірами антропогенних енергетичних субсидій основні типи агроекосистем поділяють на групи.

Першу групу утворюють *екстенсивні агроекосистеми*. Їх продуктивність низька, ступінь адаптивності високий, спеціалізація рослинницька, тваринницька, комплексна. Характеризуються тривалою обліжно-перелоговою стадією, збереженням балансу між продуктивністю кормових угідь і поголів'ям худоби.

До *другої групи* належать *інтенсивні агроекосистеми*. Їх продуктивність висока, ступінь адаптивності низький, спеціалізація рослинницька, тваринницька, комплексна. Характеризуються застосуванням сівозмін із травами і сидератами; утилізацією безпідстилкового гною, внесенням його на поля.

До *третьої групи* входять *адаптивні агроекосистеми*. Їх продуктивність помірно висока, ступінь адаптивності високий, спеціалізація рослинницька, тваринницька, комплексна. Характеризуються широким застосуванням сидерації, побічної продукції сільськогосподарських культур, сівозмін із короткою ротацією, адаптивною структурою агроекосистеми, зменшенням біологічного різноманіття, повною утилізацією гною, застосуванням біометодів.

У багатьох аграрних ландшафтах, де природні механізми саморегулювання й оптимізації екологічної ситуації в екосистемах не були порушені, сільське господарство розвивалося ефективно. Тут агроландшафт згубно не впливав на навколишнє середовище, на природні комплекси, що з ним межують.

Проте навіть у стародавньому світі траплялися екологічні катастрофи, пов'язані з деградацією ґрунтів, зникненням водойм, зміною клімату, що негативно впливало на розвиток рослинництва і тваринництва.

У міру розширення агросфери й інтенсифікації сільського господарства екологічні катастрофи ставали дедалі частішими і більш грізними.

Екологічні проблеми сільського господарства особливо загострилися в сучасну епоху науково-технічного прогресу.

Істотною особливістю агроекосистем є поява в них штучного добору і селекції рослин та тварин. Окультурення рослин і одомашнення тварин відбувалося на перших етапах формування сільського господарства (близько 12 – 14 тис. років тому). Спочатку людина проводила штучний добір рослин і тварин стихійно, без чіткого передбачення кінцевих результатів.

І тільки з кінця XIII ст. почали здійснювати цілеспрямований добір рослин і тварин.

За відносно короткий період було виведено різноманітні високоврожайні сорти рослин і продуктивні породи тварин, які відповідали соціально-економічним потребам людини.

Важливою особливістю агроекосистем є цілеспрямовані або навмисні антропогенні зміни умов життя культурних рослин і свійських тварин. Штучний добір і селекція рослин і тварин супроводжувались перебудовою інших компонентів екосистем — ґрунту, води тощо.

За допомогою агротехнічних заходів окультурювались природні ґрунти, вони набували нових фізико-хімічних і біологічних властивостей, з'явилися штучно створенні ґрунти (агроземи), що не мають природних аналогів.

Антропогенні зміни ґрунтів в аграрних ландшафтах нерідко призводили до негативних наслідків, таких як ерозія (водна і вітрова), зниження вологості ґрунту і повітря, пов'язане з вирубуванням лісів, засолення і підкислення ґрунтів тощо.

Характерною особливістю аграрних ландшафтів як екосистем є залучення у сферу діяльності людини трофічних ланцюгів і біотичного колообігу. Людина впливає на умови живлення рослин, тварин за допомогою внесення в ґрунт органічних, мінеральних, бактеріальних добрив, збагаченням ґрунту теплиць CO_2 поліпшує умови мінерального живлення рослин, здійснює годівлю тварин в умовах пасовищного і стійлового утримання.

Агроекосистемам властива розімкненість біотичного колообігу, визначена особливостями їх організації, структурою і функціями, роллю, яку вони виконують. Основне призначення агроекосистем — забезпечення населення продуктами харчування. Це завдання можна вирішити тільки докорінною перебудовою потоків речовин у сільськогосподарських екосистемах і довколишньому середовищі. Більша частина хімічних елементів, зв'язаних у фітомасі, у вигляді зерна, овочів, фруктів, корене- і бульбоплодів мігрує за межі сільськогосподарських екосистем здебільшого для забезпечення міського населення продуктами харчування, а промисловості — сировиною.

Хімічні елементи, вивезені з продуктами рослинництва і тваринництва за межі аграрних ландшафтів, виключаються з біологічного колообігу сільськогосподарських екосистем. Із харчовими відходами й екскрементами людей вони надходять у каналізаційні системи міст, інших населених пунктів, залучаються в геологічний колообіг.

Біологічний колообіг порушується також у результаті припливу в сільськогосподарські екосистеми мінеральних добрив, пестицидів та інших речовин. У них змінюється баланс хімічних речовин при-

плив — відплив. Це впливає на геохімічну ситуацію й аграрні ландшафти, стан флори і фауни, біологічну продуктивність і відтворювальну здатність культурних рослин, свійських тварин, якість продукції рослинництва і тваринництва.

В аграрних ландшафтах змінений потік енергії. В них разом із сонячною енергією використовують додаткові енергетичні ресурси для обробітку, зрошення, осушення, удобрення ґрунту, захисту рослин від шкідників, хвороб, бур'янів тощо.

Дуже велика енергоємність агроекосистем закритого ґрунту.

Значні кількості додаткової енергії потрібні і для виробництва тваринницької продукції. Енергетичні субсидії необхідні для будівництва тваринницьких приміщень, підтримання в них оптимального мікроклімату (тепло, освітлення та ін.), лікування тварин.

Сільськогосподарські екосистеми різняться від природних характером їх регулювання та керування ними. Природні біоценози є саморегулювальними, самовідтворювальними системами. В усіх сільськогосподарських екосистемах (польових, садових, пасовищних, фермських) механізми саморегулювання і самовідтворення порушені. Процеси, які відбуваються в агроекосистемах, регулюються не стільки механізмами саморегулювання і самовдосконалення, скільки людиною. Людина виконує роль «внутрішнього» і «зовнішнього» регулятора. В міру поглиблення інтенсифікації і спеціалізації сільськогосподарського виробництва характер керування агроекосистемами змінювався, ставав дедалі менше «внутрішнім» і все більше «зовнішнім». Упродовж більшої частини історії сільського господарства США основним регулятором сільськогосподарських економічних екосистем був фермер, зацікавлений у тім, щоб передати ферму своїм нащадкам у найліпшому стані. Сільськогосподарські екосистеми, керовані фермерами, пристосовувались до місцевих екологічних умов, реагували на них адекватно. Останнім часом регуляційні функції від фермера переходять до інших власників — корпорацій, кооперативів, федерального уряду, які знаходяться далеко від господарств (ферм) і зацікавлені не стільки у збереженні сільськогосподарських угідь, скільки в отриманні максимальної кількості рослинницької і тваринницької продукції.

Різкий перехід від «внутрішнього» до «зовнішнього» керування сільським господарством стався і в нашій країні в період перетворення одноосібних господарств на колективні. Сільським господарством почали керувати з центру — району, області, столиці. Механізм керування агроекосистемами з адекватного, екологічного перейшов у неекологічний. Сільськогосподарські екосистеми деградували і гинули. Тому необхідно розробити досконаліші, обґрунтовані методи керування ними, навчитися створювати агроекосистеми, які б функціонували за принципом природних екосистем.

2.3. Екологічні чинники агроекосистем

Сучасну класифікацію екологічних чинників запропонував М.Ф. Реймерс. В її основу покладено принципи обліку особливостей екологічних чинників за їх походженням, характером дії на живі системи, іншими ознаками. За часом виникнення екологічні чинники поділяють на три групи: еволюційні, історичні і діючі.

Еволюційний чинник — це чинник середовища, що впливає на організми, популяції, біоценози, екологічні системи, в тім числі й на біосферу. Він існує з часу виникнення рослинних і тваринних організмів та озонового шару.

Історичний чинник, як і еволюційний, є постійно діючим екологічним чинником. На відміну від еволюційного він є результатом історичного розвитку людства, його господарської діяльності. Наприклад, поля, сади, культурні пасовища, тваринницькі ферми і комплекси, інші антропогенні компоненти аграрних ландшафтів — екологічні чинники, пов'язані з сільськогосподарською діяльністю людей.

Діючий чинник — це сучасний екологічний чинник. Таким є меліорація земель, що забезпечує розвиток високопродуктивного рослинництва, тваринництва інших галузей. Екологічні чинники поділяють на періодичні і неперіодичні.

Періодичні чинники є циклічно змінними. Це, наприклад, періодичні зміни умов середовища зі зміною пір року. До періодичних змін організм адаптується. Суворий облік циклічних змін екологічних чинників при веденні сільського господарства вкрай потрібний. Відповідно до пори року сіють сільськогосподарські культури, збирають урожай, організовують пасовищне і стійлове утримання тварин тощо.

Неперіодичні чинники середовища виникають раптово, наприклад дощ, град, буря. Однією з гострих проблем сільського господарства є розробка надійних методів запобігання і захисту від дії несприятливих неперіодичних чинників (заморозків у період цвітіння рослин, засухи чи затоплення посівів тощо), що унеможливлює отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур, підвищення продуктивності тварин.

За черговістю виникнення екологічні чинники поділяють на первинні і вторинні. *Первинні* є вихідними, *вторинні* — їхніми наслідками. Так, формування степових, лісостепових, поліських біоценозів зумовлене особливостями кліматичних умов того чи іншого регіону України. Клімат, у свою чергу, залежить від кількості сонячної радіації, форми Землі, швидкості її обертання навколо власної осі і навколо Сонця.

За походженням розрізняють чинники космічні, абіотичні, біотичні, безживні, антропогенні, антропічні і природно-антропогенні.

Космічні чинники мають космічне походження. До них належать потік космічного пилу, космічні поля, промені Сонця та ін. Дуже важливим для функціонування агроекосистем є такий чинник, як сонячна радіація, що слугує джерелом енергії, яку рослини використовують у процесі фотосинтезу. Рослинництво можна розглядати як систему заходів щодо інтенсифікації фотосинтезу культурних рослин.

Абіотичні чинники — це чинники неживої природи. В наземних екосистемах такими є: *кліматичні* — світло, тепло, повітря (його склад і рух), волога (в тім числі опади в різних формах, вологість повітря і ґрунту та ін.); *едафічні* (ґрунтові) — гранулометричний і хімічний склад ґрунтів, їх фізичні властивості; *орографічні* — умови рельєфу. На водяні організми впливає комплекс гідрологічних чинників (гідрофізичні, гідрохімічні). Абіотичні чинники можуть справляти на організм пряму і побічну дію. Наприклад, температура середовища, що діє на організми рослин або тварин безпосередньо, визначає їх тепловий баланс, перебіг у них фізіологічних процесів. Разом з тим температура як абіотичний чинник може здійснювати на них і космічний вплив.

Біотичний чинник — сукупність впливів життєдіяльності одних організмів на життєдіяльність інших, а також на безживне середовище їх існування. Кожен організм постійно піддається прямому або побічному впливу інших істот, вступає в зв'язок з представниками свого та інших видів — рослинами, тваринами, мікроорганізмами, залежить від них і сам на них діє. На основі цього і виділяють біотичні чинники.

Фітогенні чинники — це вплив рослин (як прямий, так і побічний) на середовище. Прямим впливом є механічні контакти, симбіоз, паразитизм, оселення епіфітів тощо. Наприклад, в агроценозах повитиця польова паразитує на конюшині, люцерні, виці та інших рослинах.

За механічного контакту, симбіозу рослини впливають одна на одну, виділяють різні фізіологічно активні речовини (вітаміни, антибіотики, ферменти, фітонциди, глюкозиди та ін.), які здатні стимулювати або пригнічувати ріст інших рослин. Побічним впливом можуть бути сприятливі і несприятливі для даного виду зміни таких екологічних чинників, як світло, волога, ґрунтове живлення. Наприклад, більшість бур'янів в агроекосистемах несприятливо впливають на ґрунт, де ростуть культурні рослини. Так, пирій повзучий виділяє агропірен, який пригнічує не тільки ріст культурних рослин, а й проростання їх насіння. З іншого боку, вмілим використанням фітонцидних властивостей культур можна домогтися підвищення не тільки врожаю, а й якості продукції, обійтися без пестицидів (люцерна рятує картоплю від фузаріозного в'янення та ра-

ку, кріп серед огірків збільшує тривалість їх плодоношення, корисне сусідство яблуні і малини — при цьому малина менше пошкоджується сірою гниллю, а яблуня — паршею).

Зоогенні чинники — це вплив тварин (поїдання, витоптування, інші механічні впливи, запилення, поширення насіння тощо) на середовище. Їх можна використовувати для біологічного захисту рослин. Наприклад, відомого яйцепаразита трихограму застосовують для боротьби з капустяною, озимою та іншими совками, кукурудзяним метеликом, гороховою плодожеркою; таких ентомофагів, як інтродуковані хижі комахи подізус і перилюс — проти яйцевідкладань і личинок колорадського жука на картоплі і баклажанах.

Мікробогенні чинники — це вплив мікроорганізмів і грибів (наприклад, паразитизм) на середовище. Мікроорганізми (бактерії і гриби) впливають на ризосферу й патогенні організми. Зміна мікробонаселення ризосфери відбивається на живленні рослин, на їх стійкості до бактеріальних або інфекційних уражень. Одна вища рослина може бути проміжним хазяїном патогенного мікроорганізму, який спричинює захворювання іншої рослини. Наприклад, деякі види молочаїв є проміжним хазяїном іржі гороху (в суїдіальній стадії), тому наявність у посівах гороху молочаю небезпечна.

Антропогенні чинники відбивають вплив діяльності людини на навколишнє середовище. З їх дією пов'язане знищення продуктів еволюції — багатьох видів рослин і тварин, дуже складних систем їх сумісного існування — біоценозів. Руйнування конкретних екосистем найчастіше зумовлене безпосереднім впливом на них (пожежі, різкі зміни ґрунтового покрову і водного режиму, забруднення різними техногенними речовинами); змінами, пов'язаними з постійним вилученням фіто- і зоомаси, особливо в агроекосистемах, без компенсації їх утрат; антроподинамічними змінами; докорінними перетвореннями природних екосистем на агроекосистеми.

За характером дії екологічні чинники поділяють на інформаційні, речовино-енергетичні, фізичні, хімічні і комплексні.

Під *інформаційними чинниками* розуміють зовнішні сигнали, які діють на організми набагато сильніше, ніж потік речовини та енергії, що переноситься. Деяка життєво важлива для рослин і тварин інформація надходить без будь-яких затрат енергії (наприклад, інформація про періодичні зміни тривалості дня і ночі).

На відміну від інформаційних, *речовино-енергетичні чинники* характеризуються більш чи менш вираженою відповідністю масштабів перенесення речовини й енергії та ступеня вираженості відповідної реакції об'єкта дії (організму, популяції, біоценозу).

Серед *фізичних чинників* найбільше значення мають геофізичні і термічні, серед *хімічних* — засоленість і кислотність, серед *комплексних* — кліматичний, географічний, системотворний.

За умовами дії екологічні чинники поділяють на залежні і не залежні від щільності популяцій. Переущільнення популяцій призводить до посилення конкуренції, рослини і тварини можуть негативно впливати одні на одних. Встановлено, що під дією конкурентів ріст особини (рослини чи тварини) гальмується або навіть припиняється. Конкуренція може стати причиною загибелі рослин і тварин.

Відомо, що на життя рослин і тварин постійно впливає навколишнє середовище. Воно діє на стан популяцій, біоценозів та інших систем і складається з великої кількості різноманітних компонентів (елементів). Завданням екології (в тім числі агроекології) є вивчення впливу чинників середовища на організми рослин і тварин, на популяції і біоценози.

Екологічні чинники — це елементи (компоненти), процеси (явища) зовнішнього середовища, які впливають на біологічну систему (організм, популяцію, біоценоз). Вони діють на організм не ізольовано, а сумісно, поєднані один з одним. Проте розгляд кожного з них зокрема не тільки правомірний, а й потрібний, оскільки дає змогу краще зрозуміти роль кожного окремого компонента в житті видів чи сільськогосподарських культур, що є необхідною передумовою вивчення впливу всього комплексу кліматичних чинників загалом.

Екологічні чинники численні і різноманітні. Вони різняться за характером впливу на біологічні системи (організми, популяції, біоценоз), іншими ознаками. Потенціальна необмеженість численності і різноманітності потребує упорядкування цих чинників.

До екологічних чинників, які не залежать від щільності популяції, належать сила гравітації, атмосферний тиск, інші компоненти середовища.

За об'єктом впливу екологічні чинники поділяють на індивідуальні, групові, отологічні, соціально-психологічні, соціально-економічні, видові (в тім числі життя людини та суспільства). *Індивідуальні чинники* діють на індивідуум (особину), *групові* — на групу рослин або тварин (популяцію, біоценоз), *отологічні* — відбивають характер дії на організм певних рекреацій тварин, наприклад самок на самців, самок на дітей; *соціальні* — вплив суспільства на людину і лише частково — на свійських тварин, комах, наприклад бджіл; *соціально-психологічні*, *соціально-економічні* чинники — екологічні взаємовідносини в людському суспільстві.

За ступенем впливу на біосистеми екологічні чинники поділяють на екстремальні, непокійливі, мутагенні, тератогенні, летальні, лімітуючі. Під *екстремальними* розуміють чинники середовища, що створюють несприятливі умови для росту, розвитку і розмноження рослин і тварин. *Непокійливі* чинники безпосереднього фізико-хімічного впливу на організм не здійснюють, проте вони не є інди-

ферентними, оскільки під їх дією стан організму змінюється. Наприклад, сильний шум на фермі непокоїть тварин, знижується продуктивність лактуючих тварин, кури можуть захворіти (шумова істерика).

Мутаційні чинники середовища спричинюють мутації, *тератогенні* — тератогенез, *летальні* — зумовлюють загибель тварин і рослин, *лімітуючі* — обмежують розмноження і поширення організмів. Обмежувальний вплив мають найрізноманітніші екологічні чинники — нестача або надлишок елементів живлення, води, тепла тощо.

Лімітуючий чинник може бути і в дефіциті (нижче від критичного рівня), і в надлишку (вище від межі витривалості організму).

Діапазон між мінімумом і максимумом екологічного чинника відповідає межі витривалості (толерантності). Закономірності, пов'язані з витривалістю видів, залежно від ступеня вираженості екологічного впливу були встановлені В. Шелфордом і дістали назву *закону толерантності*. Межі толерантності виду можуть звужуватися або, навпаки, розширюватися залежно від стану популяцій, циклів їх розвитку, зміни умов середовища. Звуження меж толерантності відмічається в період розмноження організмів, коли до впливу екологічних чинників стають дуже чутливими особини, що розмножуються, насіння рослин, яйця птиці, ембріони тварин. Вони звужуються також при погіршенні умов життєзабезпечення виду. Так, за дефіциту азоту в ґрунті, що спричинює погіршення азотного живлення рослин, знижується засухостійкість злаків. Мінімум, оптимум чи максимум екологічних чинників багато в чому визначає умови розмноження і поширення рослин і тварин, їх процвітання або, навпаки, вимирання. Проте зворотні реакції організмів залежать не тільки від інтенсивності екологічних чинників, а й від стану самих організмів, їх екологічної валентності.

Екологічна валентність виду характеризує здатність організму існувати в різних умовах середовища, заселяти ділянки з більш чи менш вираженими коливаннями інтенсивності екологічних чинників. Одні біологічні види мають велику екологічну валентність (евриек), інші — малу (стеноек). Знання лімітуючих чинників, закону толерантності, екологічної валентності видів мають важливе значення для вирішення багатьох питань агроекології, зокрема для боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур. Так, змінюючи вологість ґрунту, можна боротися з жуком-шовкуном. Осушення заболочених пасовищ — надійний метод боротьби з фасціольозом — захворюванням сільськогосподарських тварин. Отже, екологічна валентність — це діапазон адаптивності (толерантності, пристосованості) виду до тих чи інших умов середовища, здатність виду заселяти середовище з різними екологічними умовами. Види з

низькою екологічною валентністю здатні витримувати обмежені варіації екологічних чинників. Це так звані *стенобіонти*. Види з високою екологічною валентністю займають різні екотипи або місця з дуже мінливими умовами. Це так звані *еврибіонти*, тобто організми, здатні жити в різних умовах навколишнього середовища або при значних їх змінах. Їм властиві широкі ареали.

Світло як екологічний чинник

Серед життєво необхідних екологічних чинників сонячному світлу належить особливе місце. Життя на нашій планеті в усій його різноманітності забезпечується енергією сонячної радіації. Зародження і розвиток живого — немислимі без Сонця. Його енергія приводить у рух складний механізм повітряних і морських течій. Під його впливом випаровується вода і відбувається безперервний її колообіг. Біосферу можна розглядати як продукт сонячної енергії та енергії живої речовини, тобто біомаси всіх організмів, які населяють нашу планету.

Із фізичного погляду сонячна радіація складається з хвиль різної довжини. Променеву енергію рослини використовують вибірково. Для фотосинтезу придатні промені з довжиною хвилі від 380 до 740 нм, які становлять до 50 % усієї енергії інтегральної сонячної радіації. Ділянка сонячного спектра, яка використовується для фотосинтезу, названа *фотосинтетичною активною радіацією* (ФАР), вона знаходиться між ультрафіолетовим (УФ) та інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням.

Проходячи відстань від Сонця до Землі, сонячна радіація дуже змінюється. Одна частина променів відбивається і поглинається хмарами й аерозолями, інша розсіюється. На зовнішній межі атмосфери Землі інтенсивність сонячної радіації становить 1,39 кВт/м^2 (сонячна константа). Поверхні Землі досягає близько половини (47 %) цієї радіації. Втрачається і фотосинтетично активна радіація, причому не тільки у верхніх шарах атмосфери, а й безпосередньо в угрупованнях рослин (фітоценозі). Частину радіації рослини відбивають, іншу частину — поглинають, решта її досягає поверхні ґрунту. Так, у посівах кукурудзи 7 % радіації відбивається, 86 — поглинається, 7 % — досягає ґрунту і нагріває його. Коефіцієнт корисної дії (ККД) поглиненої рослинами сонячної енергії невеликий. На фотосинтез використовується всього 1,5 – 4,0 % енергії. Від ефективності використання ФАР залежить урожай культур: чим вона вища, тим більший урожай сільськогосподарських культур.

Одним із перших фітобіологічну продуктивність Землі оцінив професор К.А. Тімірязєв. На основі обліку природних чинників місцевості і кількості сонячної радіації, що надходить, він встановив

теоретичну межу використання сонячної енергії — близько 10 %. За сучасними даними, потенційний урожай багатьох культур, у тім числі й зернових, за високого агрофону можна обчислити з урахуванням ККД, що дорівнює 3 – 4 %. За даними М.К. Каюмова, за такого ККД потенційний урожай зернових культур досягає 110 – 115 ц/га. Нині високими вважають урожаї, коли ККД ФАР за весь період вегетації перевищує 2 %.

Роль світла у житті рослин надзвичайно велика. Тільки в дуже небагатьох рослинах із числа автотрофних синтез відбувається за рахунок хімічної енергії неорганічних сполук. Це сіркобактерії, залізобактерії, нітрифікуючі бактерії.

Тепло як екологічний чинник

Тепло необхідне для існування рослин і тварин. Ріст, розвиток і розмноження різних видів рослин і тварин відбуваються за певних температурних режимів, які відповідають фізіологічним потребам організмів.

Для більшості видів культивованих рослин оптимальна температура коливається від 20 до 30 °С. Так, для кукурудзи вона становить 25 – 30, для томатів — 26, пшениці — 15 – 20 °С. Різні групи рослин мають свої межі мінімальної і максимальної температур зовнішнього середовища, які вони витримують. Наприклад, мінімальна температура росту огірків — 12 – 15 °С, максимальна — 35 °С, при такій температурі вони перестають рости. Температурний оптимум, найсприятливіший для росту і розвитку огірків, — 27 – 30 °С. Для різних видів сільськогосподарських тварин оптимальна температура повітря коливається від 3 – 5 до 15 – 20 °С. Слід зазначити, що температурний оптимум залежить не тільки від виду тварини, а й від стадії її онтогенезу. Встановлено, що для дорослих особин великої рогатої худоби температурний оптимум становить 10 – 18 °С, для новонароджених телят — 18 – 20 °С. Дуже високі чи дуже низькі температури навколишнього середовища несприятливо впливають на ріст, розвиток і розмноження рослин і тварин. Під впливом надмірно високих температур у клітинах розкладається білок, змінюється білково-ліпідний комплекс.

Розлад обмінних процесів супроводжується утворенням токсичних продуктів метаболізму. Структура і функції органів і тканин рослин порушуються, розвиваються ознаки захворювань: на листках пшениці з'являються жовті плями, на листках вівса — червоні («запал»). Сильне сонячне проміння може спричинити опіки покривних тканин рослин. Кора плодових дерев, уражена опіками, підсихає, розтріскується, відстає від деревини. Опіки листків можуть виникнути на місці крапель води, що залишилися після дощу або поли-

вання, оскільки вони виконують роль лінзи, яка фокусує сонячні промені в одну точку. Реакція рослин на перегрівання значною мірою залежить від їх віку. Особливо чутливі до високих температур паростки. Молоді рослини знаходяться близько від поверхні ґрунту і нічим не захищені, а в спекотні сонячні дні ґрунт може нагріватися до високих температур.

Під впливом високих температур у тварин знижується апетит. Наприклад, корови втрачають апетит за температури повітря 41 °С. Перегрівання організму супроводжується гальмуванням його росту і розвитку, зниженням продуктивності. Так, маса тіла телиць, вирощених за температури 27 °С, була на 12 % меншою, ніж вирощених за температури 10 °С. У самок і самців у результаті впливу високих температур може розвинутись безпліддя. Висока температура повітря може спричинити захворювання тварин. Тепловий удар — тяжке захворювання, зареєстроване у коней, великої рогатої худоби, свиней, інших видів тварин. Лімітуючим чинником є не тільки надмірно висока, а й надмірно низька температура навколишнього середовища.

За характером реакції на низькі температури рослини поділяють на холодо- і морозостійкі. Холодостійкими вважають рослини, стійкі до низьких температур до 0 °С. Рослини, здатні без особливих пошкоджень переносити мінусові температури, належать до морозостійких. Холодо- і морозостійкими є багато видів багаторічних рослин. Так, деревні породи різняться вищою морозостійкістю, ніж озимі злаки. Проте багаторічні деревні рослини можуть пошкоджуватися (морозобоїни) і навіть гинути від морозів. Холодо- і морозостійкість — це властивості рослин, які можуть різко змінюватися залежно від багатьох зовнішніх і внутрішніх чинників. Наприклад, стійкість деревних рослин до холоду різко підвищується у період їх спокою. Ростові процеси значно знижують стійкість рослин, що перезимували, до весняних заморозків. Чутливі до заморозків генеративні органи. Підвищення холодо- і морозостійкості культурних рослин — одна з актуальних проблем агроекології. Для підвищення стійкості рослин до низьких температур вживають різних заходів. Морозостійкість плодових дерев і озимих культур зростає при оптимізації водного режиму ґрунту.

Одним із дієвих методів є загартування проростаючого насіння і розсади при низькій температурі, що не викликає пошкодження живих тканин. У молодому віці рослини пластичніші і краще пристосовуються до перепадів температури зовнішнього середовища.

Велику увагу приділяють селекції холодостійких сортів. Виведено сорти винограду, які плодоносять у Підмосков'ї, а тим більше у північних областях України (Чернігівській, Сумській). Створюються холодостійкі ранні і дуже ранні сорти кукурудзи, сої.

Серед тварин, як і серед рослин, є тепло- і холодолюбні види. Теплолюбними є верблюди, лами, холодолюбними — одомашнені північні олені. У тварин, підданих впливу холоду, виникають захисні реакції щодо збереження температури тіла зменшенням віддачі тепла крізь шкіру. Тварини згинаються, собаки і кішки згортаються у клубок і тим самим зменшується площа відкритої поверхні тіла. Виділення тепла організмом посилюється при скороченні м'язів.

Фізіологічні можливості терморегулювання в організмі тварин не безмежні. Тривала дія низьких температур призводить до порушення функціонування органів, зниження продуктивності і відтворювальної здатності тварин. Зменшується природна резистентність організму, виникають різні захворювання. Особливо часто хворіють новонароджені телята, поросята і ягнята на бронхіт, бронхопневмонію та інші простудні хвороби. За тривалої дії низьких температур порушується терморегуляція, розвивається гіпертонія, виникають паралічі. Можливі обмороження. Насамперед обморожуються вуха, хвіст, соски свині, мошонка, нижні частини кінцівок тварин.

За сильного розладу нервової регуляції і порушення діяльності внутрішніх органів тварини гинуть.

Загартування організму тварин (утримання новонароджених телят у холоді) на фоні належних умов годівлі і догляду за молодняком великої рогатої худоби дає добрі результати.

Вода як екологічний чинник

Вода дуже поширена на планеті Земля. Дві третини її поверхні займає Світовий океан, в якому зародилося життя. Вода необхідна для підтримання життя. Вона добрий розчинник; до її складу входять мінеральні солі, що містять близько 60 хімічних елементів, без яких життєдіяльність організмів неможлива. У воді розчиняються кисень і вуглекислий газ повітря, що має важливе значення для функціонування біоти. Вода має аномальні фізичні властивості, тому її називають найдивовижнішою рідиною в світі. Зокрема, густина води, як і інших рідин, при охолодженні до певної межі (до 4 °С) спочатку збільшується, а з 4 °С до 0 °С — зменшується. Якби вода не мала цієї надзвичайної властивості, то крига, щойно з'явившись на поверхні водойми, відразу ж опускалася б на дно і не тільки болота, озера і ріки, а й полярні океани промерзали б наскрізь і населяючі їх організми гинули. Оскільки крига легша за воду, за температури води нижче від 0 °С водойми вкриваються шаром криги, який захищає водну товщу від подальшого охолодження і тим самим забезпечує умови життя водяних організмів.

Вода — необхідний компонент організмів рослин і тварин. На її частку в середньому припадає 60 – 90 % маси живої речовини. В різ-

них органах і тканинах живих організмів міститься різна кількість води, особливо в органах і тканинах тварин. Так, у кістках її близько 22 %, у м'язах — 70 – 80, у крові — близько 90, в емалі зубів — менше за 0,2, а в слині — майже 100 %. Разом із різними хімічними сполуками вода утворює основу цитоплазми клітин рослинних і тваринних організмів. Вона бере активну участь в обміні речовин між організмом і навколишнім середовищем. У процесі життєдіяльності рослини і тварини споживають велику кількість води. Частково вони використовують її для синтезу живої речовини, а більшу частину виділяють у навколишнє середовище. Наприклад, підраховано, що одна корова протягом п'яти років споживає приблизно 90 000 – 100 000 л води; для рослин кукурудзи на площі в один гектар за вегетаційний період потрібно порядку 3 млн 600 тис. л води. Для отримання одного грама сухої рослинної маси використовується від 250 до 400 г води і більше.

Склад повітря як екологічний чинник

Атмосферне повітря — один з основних життєво важливих елементів природного навколишнього середовища. Воно надійно захищає нашу планету від шкідливих космічних променів, виконує терморегулювальні, енергоресурсні та господарські функції. Під дією атмосфери на Землі відбуваються складні геологічні процеси. Вона складається з механічної суміші газів, що хімічно не взаємодіють один з одним. Сукупність метеорологічних процесів в атмосфері називають *кліматом*. У сухому повітрі об'ємні частки компонентів такі, %: азоту — 78,08; кисню — 20,96; аргону — 0,93; вуглекислого газу — 0,03; інших газів (водню, неону, криптону, радону та ін.) у повітрі дуже мало. У незаповнених водою порах ґрунту міститься повітря, воно також адсорбується поверхнею ґрунтових часточок і розчиняється у ґрунтових водах. Кількість повітря в ґрунті залежить від його типу, структури, будови генетичних горизонтів, пористості, ступеня окультуреності тощо. Склад ґрунтового повітря змінний. Ґрунтове й атмосферне повітря різниться хімічним складом. Об'ємні частки компонентів у ґрунтовому повітрі такі, %: азоту — 78,8; кисню — 5,2; вуглекислого газу — 0,1 – 1,5, містяться також інертні гази, водяна пара, аміак, а в анаеробних умовах — ще й метан, сірководень та ін. Це пояснюється тим, що в ґрунті відбуваються біологічні та окисно-відновні процеси. Під час розкладання мікроорганізмами органічної маси і дихання корені рослин інтенсивно поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ. Вміст кисню і вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі залежить від стану ґрунту, його аерації, складу рослинності, коливання температури, тиску повітря, дії вітру, рівня залягання ґрунтових і підґрунтових вод, внесення добрив і

певною мірою визначається інтенсивністю газообміну між ґрунтом і атмосферою. На газообмін найбільше впливає дифузія газів. Складом і вмістом повітря в ґрунті так само, як вмістом вологи і поживних речовин, визначається врожайність сільськогосподарських культур. Отже, в період вегетації рослин слід дбати про достатню забезпеченість ґрунту повітрям (правильно обробляти ґрунт, поліпшувати структуру орного шару тощо). З усіх газів, які входять до складу атмосферного і ґрунтового повітря, екологічно найцікавішими є кисень і вуглекислий газ. Концентрація цих газів в атмосферному і ґрунтовому повітрі різна і стабільна, що пов'язано з особливостями функціонування біосфери. У процесі синтезу і розпаду органічної речовини біосфера виробляє таку саму кількість кисню і вуглекислого газу, як і витрачає.

Проте в останні роки картина істотно змінюється. Під впливом господарської діяльності людини вміст вуглекислого газу збільшується, що пов'язано насамперед зі згорянням палива, зменшенням площі фотосинтетичної поверхні зелених рослин. Окиснення вуглецю супроводжується споживанням вільного кисню. Витрати кисню з кожним роком зростають. Загроза зменшення вмісту кисню в атмосфері, як вважають науковці, може стати реальною. Як дуже низькі, так і занадто високі концентрації кисню і вуглекислого газу негативно впливають на організми рослин і тварин. Проте зазвичай у природному середовищі зміни концентрації кисню і вуглекислого газу не є згубними для організмів. Це можна спостерігати лише у штучних екологічних системах, наприклад на тваринницьких фермах і комплексах.

Висока концентрація CO_2 у повітрі тваринницьких приміщень призводить до отруєння тварин, особливо молодняку.

У багатьох регіонах земної кулі газовий склад атмосферного повітря змінився в результаті його забруднення хімічними речовинами — викидами промислових підприємств. Таких речовин понад три тисячі. Найбільше і найсильніше атмосфера забруднюється сірчаним ангідридом, оксидами азоту, вуглецю, золою, аерозолями тощо.

У повітря індустріальних районів планети щорічно викидається близько 200 млн т оксиду вуглецю, 150 — сірчаного ангідриду, 120 — золи; 300 – 500 — пилу, 1 млрд т аерозолів та ін.

Під впливом отруйних хімічних сполук пошкоджуються органи і тканини рослин і тварин, виникають хвороби. У рослин гальмується фотосинтез, жовкнуть і обпадають листки, порушується газообмін, затримуються ріст, цвітіння і плодоношення. Зареєстровано випадки сильного ураження картоплі, кукурудзи, томатів, сої, квасолі, люцерни, винограду та інших видів культурних рослин. Крім того, можуть поширюватись грибкові та інші хвороби рослин. Інфекційні хвороби можуть спричинювати і пестициди, особливо в разі пере-

вищення доз і строків їх внесення. Забруднене атмосферне повітря подразнює слизові оболонки очей, губ, дихальних шляхів тварин, спричинює запалення носа, бронхів, легенів тощо. Пестициди призводять до порушення обміну речовин, інтоксикації організму тварин. Зареєстровано випадки отруєння чадним газом собак і кішок, які утримуються в квартирах.

Захист рослин, тварин і людей від шкідливого впливу забрудненого хімічними речовинами атмосферного повітря — складна екологічна проблема. Її намагаються вирішити фахівці різних професій. Проводяться заходи щодо захисту атмосферного повітря й очищення його від викидів промислових підприємств. Велику увагу приділяють удосконаленню очисних споруд, створюють підприємства, які працюють за безвідходними технологіями.

Рух повітря як екологічний чинник

Умови життя наземних рослин і тварин значною мірою можуть залежати від характеру циркулювання атмосферного повітря (вітру). Причиною вітру є нерівномірний атмосферний тиск біля земної поверхні. Повітря може переміщуватися горизонтально, вертикально, в різних напрямках залежно від рельєфу місцевості, наявності лісових масивів, населених пунктів тощо. Повітряні течії бувають збіжними і розбіжними, коловими, вихровими.

У багатьох регіонах земної кулі формуються характерні місцеві вітри, серед яких поширені мусони. Влітку вони дмуть з океану на суходіл, а взимку, навпаки, із суходолу в бік океану, що пов'язано з різницею атмосферного тиску через нерівномірне нагрівання суходолу і водної поверхні в літній і зимовий період.

Вітер може бути шквальним і характеризуватися сильними поривами, частими змінами напрямку руху повітряних мас. Іноді виникають смерчі — локальні висхідні вихори; бувають інші форми вітрів.

Рухоме повітря — важливий екологічний чинник, що активно впливає на життєдіяльність, біологічну продуктивність і відтворювальну здатність рослин і тварин. На рослинні і тваринні організми вітер може діяти як позитивно, так і негативно.

Висхідний потік повітря, як правило, відіграє позитивну роль у житті рослин. Наприклад, у лісових ценозах він переносить не тільки пилок і спори, а й дрібне насіння. З перенесенням вітром пилку пов'язаний глобальний за своїми масштабами процес перехресного запилення — *анемофілія*, а також природна гібридизація рослин — джерело видоутворення і прискорення темпів еволюції, особливо у покритонасінних. Анемофільні рослини продукують величезну кількість дрібного сухого пилку. Інколи пилок має повітряні мішки,

які збільшують парусність (наприклад, у сосни звичайної). До перехреснозапильних рослин належать усі голонасінні й майже 10 % покритонасінних.

Негативне значення вітру полягає у створенні лісових вітровалів, буреломів, виляганні хлібів, значному посиленні транспірації рослин. Так, навіть за сили вітру 0,2 – 0,3 м/с випаровування збільшується в 2,5 – 3 рази порівняно з повним штилем. Сильний вітер негативно впливає на зрошувані поля: зносить вологу штучного дощу, посилює випаровування. За швидкості вітру 9,7 – 10,0 м/с втрати вологи від випаровування можуть досягати 40 %. Особливо великої шкоди посівам завдають суховії. Під впливом сильного вітру рослини засихають, пригнічується формування колосків зернових, зменшується кількість зерен у колосках, зерно в них дрібне і щупле. Вітер є причиною вітрової ерозії ґрунтів. Видуваючи ґрунт, він оголює коріння, посіви гинуть від висихання або від дії приморозків.

Посіви, а інколи й полезахисні лісові насадження, можуть бути засипані ґрунтом і піском під час пилових чорних бур, які виникають за великої швидкості вітру при високій температурі і низькій вологості повітря. Чорні бурі спостерігаються на значній території України. Їх причинами є розорювання полів, зменшення кількості органічної речовини, надмірне випасання худоби.

Вітер по-різному впливає і на організми тварин. Він може сприяти розселенню сарани, павуків, багатьох інших видів. Вітер переносить запахи і тим самим відіграє певну роль у передачі екологічної інформації: тварини отримують інформацію про місцезнаходження джерел корму, статевих партнерів, природних ворогів тощо. Навіть дуже слабкий вітер допомагає комарам швидко визначити місцезнаходження великої рогатої худоби, коней та інших видів тварин — об'єктів свого паразитування.

Сильні вітри, наприклад бурі, негативно впливають як на тварин, так й на місця їх проживання. Відомі випадки масової загибелі сільськогосподарських тварин під час бур, смерчів. Крім того, викликане ними значне забруднення пасовищного корму може спричинити порушення кормоперетравлення, зниження продуктивності і відтворювальної здатності тварин. За низьких температур і високої вологості рух повітря посилює тепловіддачу, може призвести до переохолодження тварин, обморожень, простудних захворювань, ревматизму. Простудні хвороби загрожують тваринам, коли в тваринницьких приміщеннях є дефекти у стінах і перекриттях, не зачиняються двері, не засклені вікна.

Регулюванню й оптимізації руху повітря в тваринницьких приміщеннях зоогігієністи приділяють велику увагу, оскільки це має важливе значення для підвищення продуктивності тварин і запобігання їх захворюванням.

Геохімія ґрунтів як екологічний чинник

Під ґрунтом розуміють пухкий поверхневий шар суходолу, здатний давати врожай рослин. Ґрунт — природне тіло, яке сформувалось у процесі взаємодії живої і неживої природи. Ґрунтовий покрив розглядають як головний компонент біосфери, що відіграє складну, загальнопланетарну роль у накопиченні і перерозподілі енергії, підтриманні колообігу хімічних елементів, життєво необхідних для організмів. Ґрунт — дуже важливий природний ресурс, основний засіб сільськогосподарського виробництва, головною якістю якого є родючість. Під *родючістю* розуміють здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у поживних речовинах, забезпечувати їх кореневу систему водою, мікро- і макроелементами, повітрям, теплом, тобто це здатність формувати урожай сільськогосподарських культур.

Рівень родючості визначається сумою едафічних умов як фізичних, так і елементів живлення. Запас органічних і мінеральних речовин у поєднанні з ґрунтовою водою, повітрям і теплом створює режим живлення рослин. Будь-який ґрунт як природне тіло завжди має певну родючість, яка може бути порівняно високою і дуже низькою, але завжди визначається поєднанням і спільним впливом природних чинників і процесів ґрунтоутворення (материнська порода, рослинний і тваринний світ, клімат, рельєф місцевості, вік ґрунту), тому *природна родючість* збереглася на цілинних незайманих людиною землях.

У результаті різних агротехнічних впливів на ґрунт людини, пов'язаних з його обробітком, удобренням, меліорацією, створюється *штучна родючість*. Із моменту, коли ту чи іншу цілинну ділянку починають обробляти, ґрунт стає засобом виробництва і продуктом праці людини. Він дедалі більше втрачає свої первинні ознаки природно-історичного тіла і крім природної набуває штучної родючості, які практично невіддільні одна від одної. За використання природної і штучної родючості ґрунту культурними рослинами вона стає справжньою (ефективною) і вимірюється величиною врожаю.

Родючість ґрунту значною мірою залежить від його хімічного складу. Родючі ґрунти багаті на гумус, макро- і мікроелементи, необхідні для розвитку фітоценозів. Із ґрунту рослини споживають азот, фосфор, калій, кальцій, магній, бор, кобальт, мідь, цинк, залізо та інші елементи мінерального живлення.

Серед хімічних елементів, які рослини використовують для живлення, особливе місце посідає азот — компонент білка. В рослинних білках його міститься в середньому 16 %.

Джерело азоту для рослин — нітрати і солі амонію. В ґрунтовому покриві вони утворюються в результаті перебігу процесів нітрифі-

кації та амоніфікації. Азот атмосфери безпосередньо для рослин недоступний, вони використовують його після переробки азотофіксувальними мікроорганізмами, що живуть у ґрунті. Для підживлення культурних рослин широко застосовують азот органічних і мінеральних добрив (гній, торфогнойові компости, аміачну селітру, карбамід та ін.). Ґрунтовий азот за занадто низької або високої концентрації може бути для рослин лімітувальним чинником. За дефіциту азоту в рослин, особливо у хлібних злаків, розвиваються ознаки азотного голодування (листки стають дрібними, стебла — тонкими). За надмірного вмісту азоту в ґрунті затягуються строки цвітіння і дозрівання зерна пшениці, жита та інших культур. Посилене азотне живлення призводить до зростання у тканинах рослин вмісту нітратів, які разом із продуктами їх відновлення (нітритами) є отруйними для тварин і людини.

Ріст і розвиток рослин порушуються за нестачі чи надлишку не тільки ґрунтового азоту, а й інших макро- і мікроелементів. Через це змінюється хімічний склад рослин, знижується їх кормова цінність для великої рогатої худоби, свиней, птиці. В організмах тварин і рослин порушується обмін речовин, знижується їх продуктивність, виникають ендемічні хвороби, пов'язані з дефіцитом або надлишком макро- і мікроелементів. Наприклад, за нестачі в ґрунті кальцію у рослин відмічають ознаки кальцієвого голодування: листки жовкнуть, передчасно відмирають, корені ослизають, загнивають. У цих самих біогеохімічних зонах поширені захворювання тварин, пов'язані з порушенням кальцієвого обміну і пошкодженням кісткової тканини, кістки розм'якшуються, стають ламкими.

За надлишку в ґрунті кальцію в рослин можуть розвиватися хлорози і некрози, а в тварин — пошкоджуватись кістки (остеодистрофія). За надмірної концентрації нікелю у тварин реєструють захворювання шкіри (нікелевий дерматит). За нестачі цинку у кукурудзи біліють верхівки, у цитрусових з'являється мозаїчність, у плодових рослин — розетковість. У цих самих регіонах велика рогата худоба і свині хворіють на паракератоз, що супроводжується патологічними змінами епітеліальної тканини шкіри і слизових оболонок.

Інша причина зміни геохімії ґрунтів — забруднення агроекосистем хімічними речовинами. Наприклад, при забрудненні середовища фтором у яблунь, груш та інших видів рослин відмирають листки, у тварин пошкоджуються зуби.

Значна частина макро- і мікроелементів вимивається внаслідок ерозії ґрунтів. З метою оптимізації біохімії ґрунтів вносять органічні і мінеральні добрива, вживають протиерозійних заходів, захищають ґрунти від забруднення.

Біогенні чинники

Живі організми як екологічний чинник. Сукупність живих компонентів середовища взаємовпливають одні на одних і є потужним екологічним чинником, зазвичай біогенним. Організм, що зазнає впливу довколишніх рослин і тварин, є об'єктом екосистеми, а рослини і тварини, що діють на цей об'єкт, — біотичними екологічними чинниками.

Взаємозв'язки між організмами можуть складатися по-різному. Характер взаємозв'язків визначає ефект впливу біотичного чинника на той чи інший живий об'єкт екосистеми (рослини або тварини).

У життедіяльності рослин і тварин велику роль відіграють внутрішньо- і міжпопуляційні (внутрішньовидові) взаємозв'язки.

Взаємовідносини організмів одного виду викликають у них гомотипні реакції у формі позитивних і негативних взаємодій. Позитивні взаємодії виявляються як груповий ефект, негативні — як конкуренція. Терміном «груповий ефект» позначають дві форми популяційних змін: поліпшення умов росту і розвитку тварин при об'єднанні їх у групи; принцип мінімального розміру популяцій. Груповий ефект чітко виявляється у популяціях багатьох диких і свійських тварин. Так, соболята, відняті від матері і розміщенні в окремих клітках по одному, часто захворюють (хвороба самопогризання). Цьому можна запобігти, розмістивши їх парами або групами. Принцип мінімального розміру популяції відбиває біоекологічну роль чисельності особин, які утворюють групу. Популяція нездатна вижити, коли її чисельність нижча від критичного рівня. Так, у стаді північних оленів має бути не менш як 300 – 400 особин.

Терміном «конкуренція» позначають антагоністичні взаємовідносини між особинами в їх боротьбі за життєво необхідні ресурси (світло, поживу, простір та ін.). Конкурентні взаємовідносини можуть різко загостритися в разі збільшення щільності популяцій. Внаслідок конкуренції гальмуються ріст і розвиток рослин, деякі з них вимирають. Підвищену загибель, пов'язану зі збільшенням щільності популяцій, помічено у моркви, буряків, інших видів культурних рослин. Збільшення щільності популяцій тварин супроводжується стресом — напруженим станом організму, популяції, угруповання, екосистеми, що виникає під впливом будь-яких сильних подразників і супроводжується перебудовою захисних систем. Знижується відтворювальна здатність тварин. Масове безпліддя відмічається при значному концентруванні великої рогатої худоби, свиней і овець у тваринницьких комплексах промислового типу.

При взаємодії організмів різних видів проявляються гетеротипні реакції у формі конкуренції, коменсалізму, мутуалізму, аменсалізму, хижацтва, паразитизму.

Міжвидову конкуренцію рослин і тварин давно вивчають науковці і практики, і їй присвячено багато праць. Наприклад, Н.Є. Воробйов виявив, що в конкурентній боротьбі за вологу переможцем часто є не кукурудза, а гірчиця польова. Міжвидову конкурентну боротьбу спостерігають і серед сільськогосподарських тварин, зокрема за ресурси пасовищного корму при випасанні стад великої рогатої худоби, овець, кіз та інших видів тварин.

Коменсалізм — існування організмів різних видів в умовах тісного просторового контакту, коли один із видів (коменсал) постійно або тимчасово існує чи користується перевагами за рахунок іншого без шкоди для останнього. Наприклад, молоко корови використовують для підгодівлі поросят, ягнят тощо. Отже, коменсалізм — це особлива форма взаємовідносин між двома видами тварин. Коменсал може використовувати хазяїна як місце оселення, засіб пересування або живитися рештками його їжі. Коменсалізм дуже поширений у природі. Взаємодоповнення екологічних ніш також слід розглядати як форму коменсалізму. При цьому зміна середовища, спричинена одним організмом, може бути корисною для розвитку іншого.

Мутуалізм — форма симбіозу між організмами, коли співжиття однаково вигідне для обох видів. Наприклад, бобові рослини і бульбочкові бактерії на їхніх коренях, мікориза на багатьох рослинах. При взаємодії з живими тканинами кореневої системи гриби формують «органи», які підвищують здатність рослин вбирати з ґрунту елементи мінерального живлення. В свою чергу, гриби використовують продукти фотосинтезу рослин.

Інший приклад мутуалізму — взаємодія квіткових рослин із тваринами-запилювачами (комахами, птахами та ін.), що вигідно не тільки рослинам, а й тваринам-запилювачам, які отримують поживу (нектар, пергу тощо). Симбіотичні взаємовідносини встановлюються між тваринами і багатьма видами мікрофлори і мікрофауни, яка населяє їх травний канал. У рубці великої рогатої худоби, овець, кіз живе велика кількість мікробів, грибів, інфузорій та інших мікроорганізмів, які знаходять там поживу та інші ресурси для свого росту, розвитку і розмноження. В свою чергу, вони відіграють важливу роль у процесах перетравлення кормів і обміну речовин в організмі тварин.

Мутаместом усіх видів впливу рослин і тварин є людина.

Мутуалізм як форма міжвидових взаємовідносин людини, з одного боку, і культивованих нею рослин і сільськогосподарських (свійських) тварин — з іншого, має величезні масштаби. Завдяки йому значно поширені окультурені рослини (пшениця, ячмінь, жито, овес, кукурудза та ін.), одомашнені тварини (велика рогата худоба, коні, вівці, свині, кури, гуси, качки тощо).

Людина створює для рослин і тварин необхідні умови життєзабезпечення. Водночас рослини і тварини є для неї основними джерелами харчових та інших продуктів, які використовуються в народному господарстві.

Аменсалізм — форма взаємовідносин організмів, коли один вид пригнічує інший, але сам не зазнає його негативного впливу. Широко відомі приклади аменсалізму між різними представниками органічного світу — рослинами і тваринами, рослинами і мікроорганізмами, тваринами і мікроорганізмами. Наприклад, малина звичайна пригнічує ріст обліпихи звичайної, волоський горіх — яблуні звичайної, картоплю не рекомендується садити між яблунями.

Хижацтво — форма міжвидових взаємовідносин, коли одна тварина (агресор) поїдає іншу (жертву). Прикладом хижацтва у тваринництві є поїдання вовками овець та інших видів тварин, кури нерідко стають жертвами лисиць, шулік. Екологічні зв'язки хижаків і жертв спрямовують хід еволюції відповідних видів.

Паразитизм — одна із форм взаємовідносин організмів різних видів, з яких один (паразит) використовує іншого (хазяїна) як джерело живлення або середовище проживання. Паразитизм має багато спільного з хижацтвом, оскільки в обох випадках міжвидові взаємовідносини носять антагоністичний характер — один організм живиться за рахунок іншого. Проте між ними є й істотні відміни. В першому випадку споживач їжі (корму) більший за харчовий об'єкт, у другому, навпаки, паразит менший за хазяїна. Паразитичний спосіб життя ведуть бактерії, віруси, гриби, гельмінти, кліщі, комахи та ін. Паразити нерідко патогенні і можуть спричинювати масові хвороби рослин і тварин.

Біологічна рівновага системи паразит — хазяїн є необхідною умовою тривалого, теоретично нескінченного існування біоценозів і збереження їх видової різноманітності. Коли б паразити знищили своїх хазяїнів, вони втратили б місце свого проживання і джерело їжі. Загибель хазяїна неминуче призвела б до вимирання паразитів. Інша картина спостерігається в агроекосистемах. Екологічна рівновага в них часто порушується, і паразитизм як біотичний чинник може згубно впливати на рослинництво і тваринництво. Людина, сама того не усвідомлюючи, створила сприятливі умови для росту, розвитку і розмноження багатьох видів паразитів, порушила екологічну рівновагу в системі паразит — хазяїн, що призвело до виникнення масових хвороб рослин і тварин. Перетворюючи природні ландшафти на аграрні, людина знищує природні флору і фауну, створює місця проживання і вільні екологічні ніші для культивованих рослин та їхніх симбіонтів. У цьому ж біоценозі нерідко формуються сприятливі умови для розвитку збудників хвороб (патогенів)

сільськогосподарських культур і їх конкурентів — бур'янів. Так, кореневі гнилі — грибкове захворювання рослин — у природних біоценозах трапляється рідко, а в аграрних — значно поширене. На цілинних землях зернова совка не завдає великої шкоди диким злаковим травам, але після посіву пшениці її чисельність значно зростає і вона стає небезпечним шкідником. Іншими причинами негативних змін у системі паразит — хазяїн є сортова уніфікація насіння культурних рослин, призначених для посіву, і підвищена цінність культурних рослин як ланки трофічного ланцюга. Стійкість будь-якого сорту до збудників хвороб відносна, оскільки збудник рано чи пізно подолає стійкість рослини. Крім того, за допомогою агротехнічних прийомів, селекції і насінництва, інших методів поліпшують харчові якості рослин. Однак усе, що корисне для людини і тварин, не менш корисне і для збудників хвороб та шкідників ролин.

В агроценозах вони знаходяться в умовах достатнього забезпечення високоякісною їжею. Умови для росту, розвитку і розмноження паразитів поліпшуються, біологічна рівновага в системі паразит — хазяїн зміщується в бік патогену, що спричинює виникнення епіфітотій (масове поширення хвороб рослин) та епізоотій (поширення інфекційних хвороб тварин) на значній території.

Прикладами паразитів сільськогосподарських культур є повитиця польова — Cuscuta campestris, яка паразитує на люцерні, конюшині, горосі, виці, сої; льонова — Cuscuta epilinum. На тютюні, томатах, коноплях паразитує вовчок гіллястий — Orobanche ratoza; на соняшнику — вовчок соняшниковий (Orobanche cumana). Серед вищих рослин відома також група напівпаразитів, найтиповішим із яких є омела біла — Viscum album.

Багато представників ґрунтової фауни відіграє негативну роль у житті як рослинних ценозів, так і видів рослин. В одних випадках (найчастіше безхребетні або комахи-гризуни) вони безпосередньо пошкоджують рослини, знижуючи їх життєздатність, а в інших — знищують окремі органи рослин, переважно генеративні і вегетативні органи розмноження: насіння, плоди, бульби, кореневища, цибулини та ін. Великих втрат урожаю полів можуть завдавати птахи й особливо гризуни. Птахи здатні знищити велику кількість насіння і плодів сільськогосподарських і лісових рослин.

Проте не слід забувати про позитивну роль птахів у життєдіяльності лісу: одні з них знищують комах і гризунів, інші — поширюють насіння та плоди.

Антропогенні чинники

Антропогенні (антропічні чинники) — це зміни, внесені в природу людською діяльністю, які впливають на органічний світ. Розрізняють

прямі і непрямі, позитивні і негативні антропогенні чинники. Прямий вплив здійснюється безпосередньо на живий організм, непрямий — зміною фізичного й хімічного стану атмосфери, водойм, будови земної поверхні, ґрунтів та ін. Негативні антропогенні чинники спричинюють пригнічення або вимирання організмів, позитивні — створюють сприятливі умови для розвитку тих чи інших організмів.

Загальновідомо, що вплив людини на природне середовище став глобальним. Дедалі зростаючий вплив антропогенних чинників на ценози та цілі ландшафтні комплекси може бути і свідомим, і випадковим, тобто усвідомленим або неусвідомленим. Людина, перетворюючи природні ділянки, створюючи сільськогосподарські угіддя (агросферу), вивела велику кількість сортів рослин і порід тварин. Це усвідомлена діяльність, що має позитивний характер. І все ж людина та її господарство здійснюють величезний вплив на рослинний покрив континентів, водні екосистеми. Він різко зростає відповідно до темпів технічного прогресу, росту чисельності населення і міст.

Людина синтезує дедалі більше нових штучних хімічних речовин (ксенобіотиків), які насичують природні і штучні екосистеми, погіршують якість природного середовища, стимулюють зростання захворювань. Чимало ксенобіотиків надзвичайно токсичні як для людей, так і для тварин.

На рослинний покрив помітно впливає не тільки індустріалізація промислових центрів (техносфера), а й механізація сільського господарства. Поряд із позитивним впливом на природні комплекси (інженерні споруди для захисту від селевих потоків і ерозійних процесів, насадження лісових смуг для протидії суховіям) виявляється і негативний, наприклад знищення степу як багатокомпонентного природного рослинного ландшафту. До неусвідомленої діяльності відносять вчинки людей, які викликають непередбачувану післядію на природу: обміління річок, зниження рівня ґрунтових вод, ерозія ґрунту, зникнення видів рослин і тварин, знищення ценозів, забруднення повітряного середовища, води, ґрунтів, знищення корисних комах, птахів тощо.

Своїми діями людина як безпосередньо (прямо), так і опосередковано впливає на рослинний покрив. Прикладами прямого впливу є випалювання рослинного покриву, затоплення, вирубування (викорчовування) дерев і кущів, побічного — ослаблення впливу зоогенного чинника в результаті боротьби із гризунами чи шкідливою ентомофауною, зміна фізичних і хімічних властивостей ґрунту як наслідок цілеспрямованих агротехнічних заходів, зміна умов водопостачання тощо. Все це негативно впливає на сільськогосподарські ценози, а також забруднення середовища. Найнебезпечніші для рослин викиди промислових підприємств (сажа, оксиди азоту, етилен, ацетон, сірчаний естер та ін.), викидні гази двигунів внутрішнього

згоряння, насамперед автомобілів. Шкідливі відходи промислових підприємств згубні для зелених насаджень і навколишніх природних рослинних угруповань, особливо лісових.

Інформація як екологічний чинник

Інформація — це відомості про якісь події, повідомлення про щось, властивість матеріальних об'єктів і процесів зберігати, породжувати певний стан, який у різних речовино-енергетичних формах може бути переданий від одного об'єкта до іншого. Вона передається у формі звукових, оптичних, хімічних, магнітних та інших сигналів. Джерелами інформації можуть бути рослини, тварини і процеси, що в них відбуваються, об'єкти і явища довкола них.

Залежно від джерел і шляхів передачі біологічну інформацію поділяють на внутрішню і зовнішню (екологічну).

Внутрішня біологічна інформація — це сукупність хімічно закодованих ознак, які передаються від клітини до клітини, від організму до організму. Вона відбиває перенесення спадкового матеріалу від материнських клітин до дочірніх (генетична інформація) та інші процеси, які відбуваються в організмах рослин і тварин. Для вищих тварин, у тім числі сільськогосподарських, важливу роль відіграє внутрішня інформація у формі нервових імпульсів, що передаються від периферії організму до центра (головного мозку), від центра — до периферії, від одного органа до іншого.

Зовнішня біологічна (екологічна) інформація впливає на організм з боку навколишнього середовища. Це може бути чергування дня і ночі, сила гравітації, температура навколишнього середовища, тривалість світлового дня тощо.

Екологічна інформація тісно пов'язана з внутрішньою і загалом впливає на стан організму. В свою чергу, організми можуть впливати на своє оточення, зовнішню інформацію, яку вони сприймають. Деякі види організмів змінюють навколишнє середовище за допомогою генерації звуків та різних сигналів, інші — змінюють своє оточення створенням нір, гнізд та ін.

Здатність рослин і тварин сприймати екологічну інформацію є однією з необхідних умов їх життя. Механізм сприйняття інформації різними організмами вивчено недостатньо. Найкраще він вивчений для ссавців і птиць.

2.4. Природні ресурси

Розвиток агропромислового комплексу базується на науково обґрунтованому обліку і раціональному використанні природних, техніко-економічних, суспільно-історичних і організаційно-господар-

ських чинників сільськогосподарського виробництва. При цьому лише природні чинники є натуральною основою, базисом виробництва, а решта сформувалися у процесі суспільного виробництва.

Природні ресурси — це будь-які об'єкти природи, які людина використовує для задоволення різноманітних потреб, підтримання умов існування людства і підвищення якості життя.

Природними ресурсами є корисні копалини, рослинність, тваринний світ, атмосферне повітря, вода, ґрунт, клімат, сонячна і космічна радіація.

Природні ресурси поділяють на непоновлювані і поновлювані. До *непоновлюваних* належать ті, які абсолютно не відновлюються або відновлюються у сотні тисяч разів повільніше, ніж використовуються. Це кам'яне вугілля, нафта, більшість інших корисних копалин (різні руди, солі та ін.), торфовища, численні осадові породи тощо. Використання цих ресурсів неминуче призводить до їх виснаження. Охорона непоновлюваних природних ресурсів полягає в раціональному, економному використанні їх, боротьбі з втратами, а також у пошуку замінників.

Поновлюваними природними ресурсами є ґрунт, рослинний і тваринний світ, деякі мінеральні речовини (солі, що осідають в озерах та морських лагунах). Ці ресурси постійно відновлюються, проте для збереження цієї їх здатності потрібні певні природні умови. Процеси відновлення різних ресурсів можуть мати дуже різну тривалість: для відновлення зникаючих видів тварин потрібно декілька років, вирубаного лісу — 60 – 80 років, зруйнованого ґрунту — кілька тисячоліть. Тому темпи втрати природних ресурсів мають відповідати темпам їх відновлення. Порушення цієї рівноваги неминуче призведе до цілковитої втрати природних ресурсів.

Поновлювані природні ресурси в результаті діяльності людини можуть стати непоновлюваними (знищення видів рослин і тварин, втрачений ґрунт через ерозію, засолення тощо).

Поновлювані природні ресурси треба захищати раціональним їх використанням і розширеним відтворенням, тоді вони можуть служити людині практично нескінченно.

Невичерпними природними ресурсами є водні, кліматичні (атмосферне повітря, енергія вітру) та космічні (сонячна радіація, енергія морських припливів). Загальний ресурс води на Землі залишається незмінним і невичерпним, але у зв'язку з посиленням антропогенного впливу запаси води в окремих регіонах можуть значно змінюватися, що призводить до дефіциту не тільки прісної (питної), а й технічної води. Атмосферне повітря також загрозливо забруднюється, через що значно змінюється кількість сонячної радіації.

Для охорони природних ресурсів потрібно знати запаси кожного з них, щоб своєчасно вживати ефективних заходів щодо їх віднов-

лення і відтворення. Джерелом такої інформації є кадастри — систематичні зведення даних, які кількісно й якісно характеризують певний вид природних ресурсів і явищ, іноді з їх економічною чи соціально-економічною характеристикою, оцінкою змін під впливом людини, рекомендаціями щодо раціонального використання ресурсів і необхідними заходами для їх захисту.

Розрізняють земельний, водний, лісовий, промисловий та інші кадастри. Ведення комплексних територіальних кадастрів природних ресурсів комп'ютеризовано. Територіальна орієнтація кадастрових робіт пов'язана зі значним розширенням обсягів аерокосмічних і картографічних відомостей.

2.5. Природно-ресурсна характеристика основних агроекосистем України

Загальні відомості. Особливе географічне положення України визначило характер її рослинності та ґрунтових і кліматичних відмін. Територія країни простягається із заходу на схід більш як на 1300 кілометрів, а з півночі на південь — майже на 900 кілометрів. Її площа досягає 6 млн 37 тисяч квадратних кілометрів. Вона знаходиться в межах трьох фізико-географічних зон. Рівнинна територія — це південно-західна частина Східно-Європейської рівнини, на заході країни здіймаються Українські Карпати, на півдні — Кримські гори. Це наклало відбиток на процеси формування фітоценотичної структури і розміщення в межах помірного поясу за винятком Південного берега Криму з ознаками субтропічного.

На площі Східно-Європейської рівнини виділяють специфічні фізико-географічні зони, провінції та області. В геоботанічних підзонах простежуються зональні зміни компонентів фітоценозу, що особливо виявляється в лісових угрупованнях конкретних формацій.

Через зональний розподіл сонячної енергії зонально виявляються кліматичні умови, процеси вивітрювання гірських материнських порід, розміщуються ґрунти, формується рослинність, тваринний світ. Зональні й азональні чинники системно взаємодіють між собою і створюють різноманітність земної поверхні. Виявляються вони порізному залежно від конкретних географічних обставин і стадії розвитку певної території. Все це сприяло формуванню різних схем спеціалізованого районування таких компонентів природного середовища, як клімат, ґрунти, рослинність, тваринний світ та ін. Усі вони мають специфічне галузеве спрямування вирішення питань господарського використання природних ресурсів і водночас створюють природне середовище з цілої низки екологічних чинників.

Один із розділів екології — ландшафтна екологія, або екологія ландшафтів, вивчає структуру й функціонування природних комплексів, які складаються з ландшафтотворних компонентів, тобто детально досліджує складові ландшафту. Такі дослідження дають змогу виділити екосистеми різних ієрархічних рівнів організації в певних географічних районах і зонах. За В.В. Докучаєвим, в основу виділення зон покладено різні кількості тепла і вологи (абіотичні чинники), тобто кліматичні відмінності території.

Рослинний природний покрив є специфічним індикатором, за яким зони (пояси) різняться між собою. Тому більшість зон отримала свою сучасну назву за типом рослинності — тундра, лісова, лісостепова, степова та ін. Особливості зональної рослинності найповніше відбивають фітоценози, розміщені на рівнинах (плакорних площах), оскільки ці ділянки найбільшою мірою відповідають кліматичним умовам певної зони. Плакори або плакорні умови слід розглядати в широкому розумінні, що включає в себе різні позитивні форми рельєфу, де зазвичай формується зональна рослинність. У негативних формах рельєфу, що займають невеликі площі, є і неплакорна рослинність. Отже, рослинність, що заселяє пониззя, підвищення, схили різної стрімкості, може різнитися від основної, зональної, тобто тут поширена інша зональна рослинність.

На території України виділяють види природної рослинності, пов'язані з ґрунтами різного генезису:

- Лісова зона (розвиток зонального підзолистого ґрунту і наявність болотних ґрунтів); Українське Полісся — підзона хвойно-широколистяних лісів (дерново-підзолисті ґрунти);
- Лісостепова зона (розвиток зональних сірих лісових ґрунтів, наявність підзолистих і чорноземів);
- Степова зона (розвиток зональних чорноземів і темно-каштанових ґрунтів, наявність солонців і солодей).

Крім перелічених виділяють ще зону сухих степів і гірські країни — Крим та Українські Карпати.

Українське Полісся

Українське Полісся входить у зону Мішаних лісів Східно-Європейської рівнини і є частиною єдиної фізико-географічної провінції з характерним для неї підтипом поліських ландшафтів. Річний радіаційний баланс на території Українського Полісся становить 178 – 188 кДж/см^2. Вегетаційний період рослинності триває 190 – 205 діб. Середньорічна кількість опадів — 550 – 700 мм. Випаровування не перевищує 400 – 450 мм. Коефіцієнт зволоження (відношення кількості опадів до випаровування) — 1,9 – 2,8.

Для поліських ландшафтів характерні велика зволоженість і розвиток процесів заболочування. До 70 % заболочених земель кра-

їни припадає на Полісся. Значна зволоженість зумовила розвиток процесів утворення підзолистого та болотного ґрунтів, формування лучної, болотної та лісової рослинності. Ліси вкривають близько 25 % цієї території. Ґрунти піщані, малородючі, на незміцнених рослинами ділянках можлива вітрова ерозія.

До складу Українського Полісся входить п'ять фізико-географічних областей: Волинське, Житомирське, Київське, Чернігівське та Новгород-Сіверське Полісся.

Волинське Полісся — найбільш зволожена, заболочена і заліснена ділянка. Ландшафти тут сформувалися на крейдяних породах, перекритих незначною товщею антропогенних відкладів, що утворилися за час існування людини. Переважають долинно-терасові, піщано-горбисті та лучно-болотні заплавні частини. Характерні карстові явища. Північно-західна частина області — район Шацьких озер — перспективний для створення бальнеологічних установ.

Житомирське Полісся різниться від інших виходами кристалічних порід, більш підвищеним положенням і меншою заболоченістю. Заболочені землі є лише на північному заході на території Рівненської обл. Піщані рівнини на кристалічній основі з дерново-підзолистими ґрунтами та піщано-валунні збезлісені рівнини Житомирського Полісся розчленовані вузькими порожистими річковими долинами. У межиріччі Уборті та Болотниці створено Поліський державний заповідник з метою збереження типових поліських ландшафтів. У перспективну мережу заповідників та заказників включено Словечансько-Овруцький кряж.

На цій височині збереглася значна кількість реліктових рослин сучасної флори. Релікти зростають тут автохтонно, тобто там, де вони сформувалися в процесі еволюції, і є рештками давніх флор, які зазнали істотних змін у далекому геологічному минулому. Цей куточок є однією з частин давнього ареалу багатьох сучасних видів і послужив своєрідним сховищем (рефугіумом) для видів, що збереглися до наших днів. Тому Словечансько-Овруцький кряж — це справді унікальна перлина не лише Українського Полісся, а й Європи. Багато видів рослин із цієї височини після природних катаклізмів поширились територіями України і Білорусі.

Київське Полісся — низовинна рівнина з переважанням зандрових, долинно-зандрових і долинних терасових площ із боровими і суборовими лісами; невеликі ділянки займають моренно-зандрові та лісові острови.

У *Чернігівському Поліссі* поряд із територіями поліського типу близько 20 % площі — це ландшафти лісостепового характеру з великою кількістю боліт, найбільшими з яких є Замглай, Паристе, Вільшане, Видра.

У *Новгород-Сіверському Поліссі* на підвищених плесових і моренно-зандрових рівнинах інтенсивно розвиваються ерозійні процеси та карстові явища, пов'язані з крейдяними відкладами, що залягають близько від поверхні.

Отже, Українське Полісся охоплює північні райони Волинської, Львівської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської і Сумської областей. Цей регіон займає менш як 1/5 території країни. Тут знаходиться понад 25 % природних кормових угідь і понад 40 % усіх лісів України. В цьому регіоні орні землі становлять більш як третину площі, найпоширеніші дерново-підзолисті ґрунти, з яких 46 % — піщані, 45 — супіщані й 9 % — суглинкові. Супіщані й суглинкові ґрунти майже на 80 % використовують як орні угіддя, а піщані здебільшого вкриті сосновими борами. Трапляються дернові, лучні, лучно-болотні та болотні ґрунти, які слугують природними сіножатями й пасовищами. Сільське господарство регіону спеціалізується переважно на виробництві продукції тваринництва, картоплі, льону, тут зосереджені всі хмільники республіки.

Територія цієї зони найбільш потерпіла від чорнобильської катастрофи, а також від надмірного осушення.

Лісостепова зона

Лісостепова зона пролягає південними районами Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської, Чернігівської, Сумської областей, східними районами Івано-Франківської і Чернівецької, центральними районами Львівської, Тернопільської, Хмельницької, Вінницької, Черкаської, а також північними районами Одеської, Кіровоградської та Харківської областей. У цій зоні (34 % усієї території України) велика частка сільськогосподарських угідь (66 % орних земель).

Різниться своєрідною ландшафтною структурою, складним чергуванням природних комплексів з опідзоленими ґрунтами, які сформувалися під широколистими лісами, та з типовими глибокими чорноземами на легкосуглинкових лесових породах під остепненими луками і лучними степами. Середньорічний радіаційний баланс становить 188 – 209 кДж/см^2. Кількість опадів протягом року коливається від 450 до 650, а випаровування — від 550 до 750 мм. Коефіцієнт зволоження становить 2,8 у західній та 1,3 — у південно-західній частині. У лісостеповій зоні України виділяють Західноукраїнську, Дністровсько-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську і Середньоросійську провінції. Вони різняться між собою нерівномірним зволожуванням, наростанням континентальності клімату із заходу на схід і чергуванням височин та низинних рівнин.

Правобережні, більш зволожувані провінції характеризуються підвищеною вилуженістю ґрунтів, значною кількістю опідзолених

чорноземів і сірих ґрунтів на карбонатних лесових породах. У лівобережній частині та в південній смузі зони переважають типові малогумусні чорноземи. Лісами зайнято до 12 % території зони, близько 67 % сільськогосподарських угідь. Основні культури — озима пшениця і цукрові буряки. Ерозійні процеси дуже негативно впливають на господарське використання земель. Тому поряд із загальними методами підвищення родючості ґрунтів вживають протиерозійних заходів. Для лівобережної низовинної рівнини важливими заходами є також нагромадження і збереження вологи, внесення достатньої кількості добрив, боротьба із засоленням і заболоченням ґрунтів.

Західноукраїнська лісостепова провінція включає Волинську височину і північну частину Поділля. Для неї характерна підвищена вологість клімату. Середньорічна кількість опадів тут становить 600 – 700 мм, коефіцієнт зволоження — 2,0 – 2,8, тому ґрунти дуже вилужені. Переважають опідзолені чорноземи і сірі лісові ґрунти. Поширені буково-грабово-дубові ліси (близько 15 – 30 % площі провінції).

За характером і генезисом ландшафтів Західноукраїнська провінція є перехідною до зони широколистих лісів. Територія провінції поділяється на шість фізико-географічних областей: Волинська височина, Мале Полісся, Розточчя й Опілля, Західноподільська, Північноподільська, Прут-Дністровська. Лісостепова частина Волинської височини займає півострівне положення серед поліських ландшафтів. Тут поширені ландшафти рівнинних і рівнинно-горбистих межиріч із сірими лісовими ґрунтами та опідзоленими чорноземами. Лише Мізоцький кряж виділяється своїми горбисто-пасмовими та яружно-балковими ділянками. У долинах знаходяться основні площі лучних угідь.

Мале Полісся — це понижена рівнина, яка межує на півночі з Волинською височиною, на півдні — з Подільською. Розточчя й Опілля — найбільш заліснені ділянки, лісостани тут займають 30 %.

Західноподільська і Північноподільська області характеризуються розвитком вододільних слабкохвилястих, останцево-горбистих і яружно-балкових місцевостей. У Північноподільській області більш поширені слабкоеродовані вододільні рівнини з типовими малогумусними чорноземами. Винятком є Кременецькі гори із горбисто-останцевими ділянками й еродованими сірими лісовими ґрунтами. У Західноподільській області рівнинно-хвилясті межиріччя, що вкриті темно-сірими і чорноземними ґрунтами, розчленовані каньйоноподібними долинами лівобережних приток Дністра. Прут-Дністровська лісостепова область виділяється складним поєднанням рівнинно-хвилястих і горбисто-пасмових місцевостей із долин-

но-терасовими та яружно-балковими. Тут розвиваються карстові процеси. В рослинному покриві переважають дубово-букові ліси з домішкою ялини і смереки.

Дністровсько-Дніпровська лісостепова провінція займає центральну частину лісостепової зони країни (Подільську і Придніпровську височини), висота 200 – 300 м над рівнем моря. Ландшафти сформувались в умовах підвищеного рельєфу на кристалічних породах Українського щита. Клімат провінції помірно континентальний, порівняно менш вологий (коефіцієнт зволоження 2,0 – 1,4). Для провінції характерні зміни, залежно від висоти, ґрунтово-рослинного покриву. В її межах виділяють сім фізико-географічних областей: північна частина Придніпровської височини, Київське плато, Подільське Побужжя, Центральна частина Придніпровської височини, Придністровсько-Подільська, південні схили Подільської та Придніпровської височин.

Із півночі провінцію обмежують Північна область Придніпровської височини і Київське плато. Тут переважають плоскі та слабкохвилясті рівнини з глибокими малогумусними чорноземами, які сформувались під степовими луками. Поширений площинний змив ґрунтів. Південна частина і придніпровська смуга Київського плато розчленовані глибокими ярами, схили яких ускладнені зсувами. Зім'яті дією льодовика гірські породи з інтенсивними ерозійними процесами створюють своєрідний горбисто-ерозійний ландшафт (Канівські гори). В цій провінції знаходиться Канівський державний заповідник площею понад тисячу гектарів. У заповіднику неповторно об'єднались унікальні пам'ятки природи, історії, археології, геології та палеонтології. Багата флора грабових дібров, де під шатрами лісу збереглося чимало рідкісних представників минулих епох: папороть Брауна, страусове перо, вужачка, багатоніжка, ведмежа цибуля тощо. Розмаїта і фауна заповідника, де мешкає до 12 % ссавців і 38 % птахів регіону.

На розчленованій підвищеній рівнині Подільського Побужжя (Вінницька обл.) та в центральній частині Придніпровської височини розвинені ландшафти із сірими лісовими ґрунтами, які утворились під широколистими лісами. Поширені також вододільні рівнинно-хвилясті ділянки з типовими малогумусними чорноземами і долинно-балкові з еродованими сірими лісовими ґрунтами. У придніпровській смузі спостерігаються інтенсивна яружна ерозія, останцеві горбисті еродовані ділянки.

Придністровсько-Подільська і лісостепові області південних схилів Подільської та Придніпровської височин за своїми температурними умовами перспективні для вирощування багатьох теплолюбних культур. Для кожної з них характерна своєрідна ландшафтна структура і різні форми прояву ерозії.

Лівобережно-Дніпровська лісостепова провінція знаходиться в Придніпровській низовині, має висоту 100 – 175 м. Тут переважає помірно континентальний клімат. Коефіцієнт зволоження від 1,9 на півночі до 1,3 на півдні. Залісеність території незначна. Ліси ростуть уздовж борових терас Дніпра та його приток. Виділяють чотири фізико-географічні області: Північну і Південну Дніпровської терасової рівнини, Північну і Південну Придніпровської (Полтавської) рівнини.

У ландшафтній структурі Північної і Південної областей Дніпровської терасової рівнини поєднані долинно-заплавні, надзаплавно-терасові борові та надзаплавно-терасові лісостепові місцевості. Домінують місцевості лесових терас, вкритих глибокими малогумусними чорноземами. Характерною є значна заболоченість і карбонатна засоленість ґрунтів, особливо на півночі провінції.

Засолені ґрунти поширені і в південній частині провінції. Північна і Південна області Придніпровської (Полтавської) рівнини подібні за ландшафтною структурою. На їх території переважають підвищені слабкорозчленовані межиріччя, вкриті чорноземами, здебільшого малогумусними, які на півдні переходять у середньогумусні.

Середньоросійська лісостепова провінція знаходиться переважно за межами України. Східні схили Середньоросійської височини обмежують Сумська і Харківська фізико-географічні області. Клімат провінції континентальний, із холодною зимою. Середньорічна кількість опадів — 450 – 550 мм. Полого-хвилясті розчленовані межиріччя вкриті типовими малогумусними, а на півдні — середньогумусними чорноземами. Тут знаходиться один із філіалів Українського степового державного заповідника — Михайлівська Цілина площею понад 200 га (Лебединський р-н Сумської обл.). Це єдина нерозорана ділянка степу у лісостеповій зоні України, де зростає близько 500 видів, з яких понад 200 видів — типові «степняки».

Степова зона

Порівняно з описаними вище зонами — тепліший край. Середньорічний радіаційний баланс становить 209 – 238 кДж/см^2. Вегетаційний період — 210 – 225 діб. Річна сума температур перевищує 10 градусів і дорівнює 2800 – 3300, а в Задністров'ї — до 3400 – 3600 градусів. Кількість опадів протягом року в межах зони зменшується від 450 на півночі до 400 – 350 мм на півдні. Випаровування з водної поверхні — 600 – 800 мм, коефіцієнт зволоження — 1,3 – 1,0.

У зоні найбільш поширені звичайні середньогумусні та південні малогумусні чорноземи, які сформувались на важкосуглинкових лісових породах під різнотравно-типчаково-ковиловою і типчаково-

ковиловою рослинністю. Ріллі у земельному фонді — 75 – 80 %. Близько половини земельних угідь займають посіви найціннішої продовольчої культури — озимої пшениці. Важливою умовою вирощування високих і стабільних урожаїв є зрошування. За кількістю теплових ресурсів, вологозабезпеченістю та агровиробничими властивостями ґрунтів степову зону поділяють на північну і південну підзони. Північностепова підзона включає шість провінцій: Молдавську, Дністровсько-Дніпровську, Лівобережно-Дніпровську, Приазовську, Донецьку та Донецько-Донську.

Молдавська північностепова провінція займає південні відроги Молдавської височини і південні схили плато Бирлад. Серед інших північно-степових провінцій вона виділяється найм'якшим кліматом із порівняно великими тепловими ресурсами. Тривалість безморозного періоду 195 діб, вегетаційного — 200 – 225. Частина провінції, що знаходиться у Прут-Дністровському межиріччі, — це південні відроги Молдавської височини, підвищені ділянки якої в минулому були гірницевим лісостепом. Подекуди на опідзолених чорноземах ще й досі збереглися вододільні ліси з пухнастих і звичайних дубів (гірниці).

Дністровсько-Дніпровська північностепова провінція включає дві фізико-географічні області — південні відроги Подільської та Придніпровської височин. Для цього краю характерний м'який і теплий клімат. Сума температур, що перевищують 10 градусів, становить 2800 – 3200. Середньорічна сума опадів — 420 – 465 мм. Ландшафтні особливості їх зумовлені корінною геологічною основою. В межах південних відрогів Подільської височини антропогенний покрив залягає переважно на відкладах балтської світи. На площі південних відрогів Придніпровської височини близько від поверхні знаходяться древні кристалічні породи. Тут переважають долинно-яружно-балкові місцевості зі змитими звичайними, майже повністю розораними чорноземами. Орні землі займають 55 – 65 % території.

Лівобережно-Дніпровська північностепова провінція характеризується більш континентальним кліматом, коротшим вегетаційним періодом (205 – 210 діб) та меншою зволоженістю. Її поділяють на дві області: Орельсько-Самарську і Запорізько-Гуляйпільську. В Орельсько-Самарській області Придніпровської низовини поєднані вододільні рівнини зі звичайними середньо- і малогумусними чорноземами, з долинно-балковими і надзаплавними терасовими місцевостями. Орні землі в окремих місцях займають 90 – 95 % площі. Запорізько-Гуляйпільська область знаходиться на зниженій частині Українського щита і в рельєфі виділяється як частина Придніпровської низовини. В обох областях поширені яружно-балкові ділянки з еродованими звичайними чорноземами.

Приазовська північностепова провінція поділяється на фізико-географічні області Приазовської височини та Приазовської низовини. Вона вузькою смугою простягається вздовж північного берега Азовського моря. Три чверті території Приазовської височини становлять останцево-вододільні й долинно-балкові місцевості з еродованими щебенюватими чорноземними ґрунтами. У низовині рівнинно-степові місцевості зі звичайними середньо- і малогумусними потужними чорноземами поєднані з долинними, заплавними і надзаплавно-терасовими місцевостями, для яких характерні лучно-чорноземні й чорноземно-солонцюваті ґрунти.

Донецька північностепова провінція поділяється на дві фізико-географічні області: Донецьку височину та південно-східну її частину. На Донецькій височині переважають вододільні хвилясті місцевості зі звичайними чорноземами на лесах, у південно-східній її частині домінують структурно-денудаційні ділянки з чорноземами, дерновими й щебенюватими ґрунтами, а також чорноземами і дерново-карбонатними ґрунтами. Характерним є поєднання елементів лісостепових і степових ландшафтів. У межах цієї провінції знаходяться філіали Українського степового державного заповідника — Кам'яні Могили та Хомутівський Степ.

Кам'яні Могили займають площу 404 га (території Запорізької і Донецької областей) і є гірською країною в мініатюрі. Це острівний вихід на рівнинну поверхню степу Українського щита.

Хомутівський Степ (Новоазовський р-н Донецької обл.) має площу понад 1000 га і є південним представником різнотравно-типчаково-ковилового степу. Тут росте 422 види вищих рослин.

Донецько-Донська північностепова провінція характеризується найбільш континентальним кліматом. Тривалість вегетаційного періоду тут 195 – 205 діб. У ній виділяється Старобільська степова область південно-західних відрогів Середньоросійської височини, більша частина якої знаходиться за межами України. У цій області типові північно-степові ландшафти зі звичайними малогумусними чорноземами, що сформувались під різнотравно-типчаково-злаковою рослинністю. Для неї характерні значна еродованість ґрунтового покриву, наявність відшарувань лесу і крейди у долинах і давніх балках. Значні площі займають долинні заплавні та надзаплавно-терасові піщані ділянки (долина Сіверського Дінця).

Південностепову підзону степу поділяють на Дунайсько-Дністровську, Дністровсько-Дніпровську та Лівобережно-Дніпровську південностепові фізико-географічні провінції.

Дунайсько-Дністровська південностепова провінція простягається від південного Передкарпаття (Румунія) до долини Дністра. В межах України до її складу входить область Задністровського Причорномор'я. У геоморфологічному відношенні — це приморська ни-

зовинна рівнина. Тривалість безморозного періоду тут понад 200, вегетаційного — 235 – 245 діб. Сума активних температур — 3400 – 3600 градусів. Зима м'яка, з частими відлигами. Середньорічна кількість опадів — 350 – 400 мм.

Характерної ландшафтної особливості області надають Дунайська і Дністровська групи лиманів. Багатоводний Дунай при впаданні в Чорне море утворює величезну дельту, де суходільні урочища не перевищують 20 %. Більша частина їх заросла очеретом, третина площі припадає на озера, протоки і рукави.

Дністровсько-Дніпровська південностепова провінція простягається від Дністровського лиману до західних відрогів Приазовської височини, займає північну частину Причорноморської низовини. Її поверхня — це важкосуглинковий лес, що залягає на червоно-бурих глинах. Рівнинна низовина порізана долинами річок, прирічковими балками і вододільними подами. Кліматичні особливості провінції визначаються наростанням континентальності й посушливості. Тривалість безморозного періоду 175 – 190, вегетаційного — 220 – 230 діб. Сума активних температур повітря — 3200 – 3400 градусів, середньорічна кількість опадів — 350 – 420 мм, випаровування з водної поверхні — 800 – 900 мм. В умовах посушливого клімату на лесових породах сформувалися південні малогумусні й солонцюваті чорноземи.

За характером ландшафтно-типологічної структури провінція поділяється на Дністровсько-Бузьку і Бузько-Дніпровську області. У першій — вододільно-рівнинні місцевості з еродованими південними чорноземними ґрунтами поєднуються з долинно-лиманними. Найбільшими її лиманами є Хаджибейський, Куяльницький, Тилігульський і Березанський. У Бузько-Дніпровській області низовинно-рівнинні вододіли, розширюючись, утворюють рівнинно-подові місцевості з південними чорноземами і темно-каштановими ґрунтами в комплексі з лучно-чорноземними, дерновими, осолоділими глейовими ґрунтами і солодями подів, які займають близько 80 % площі.

Лівобережно-Дніпровська південностепова провінція включає Дніпровсько-Молочанську та Лівобережно-Молочанську фізико-географічні області. У Дніпровсько-Молочанській домінують рівнинно-подові місцевості з південними малогумусними і звичайними малогумусними неглибокими чорноземами у поєднанні з оглеєними лучно-чорноземними ґрунтами і солодями подів. У південній частині провінції виділяються місцевості з південними останцево-солонцюватими чорноземами. Лівобережно-Молочанська область займає понижені західні відроги Приазовської височини і комплекс терас річки Молочної. В ландшафтній структурі переважають вододільні місцевості з еродованими щебенюватими південними чорноземами та різними варіантами степових типів ґрунтів.

Зона сухих степів

Зона сухих степів характеризується високими тепловими ресурсами та посушливістю. Радіаційний баланс становить 217 – 238 кДж/см^2. Безморозний період триває 190 – 210, вегетаційний — 230 – 240 діб. Сума активних температур — близько 3400 град, середньорічна кількість опадів — 300 – 400 мм, випаровуваність — 900 – 1000 мм, коефіцієнт зволоження — від 1,0 до 0,8. Тут поширені солонцюваті ґрунти каштанового типу в комплексі з солонцями. Ефективне використання земель у сільськогосподарському виробництві можливе тільки при зрошенні. Зону поділяють на Причорноморську сухостепову (Одесько-Херсонське Причорномор'я), Нижньодніпровську і Присиваško-Приазовську області.

Причорноморська область — це найнижча частина Причорноморської низовини (від Одеси до Херсона). Ландшафтну структуру її визначають рівнинно-подові місцевості з темно-каштановими солонцюватими ґрунтами, що поєднуються з лучно-чорноземними і лучно-каштановими ґрунтами подів (близько 90 % території) та лиманно-долинними ділянками.

Нижньодніпровська область геоморфологічно є терасово-дельтовою рівниною. Її ландшафтну структуру утворюють степові піщаногорбисті місцевості з дерновими і піщаними чорноземними ґрунтами та рівнинно-подові з каштановими ґрунтами, поєднаними із солонцями.

У *Присиваško-Приазовській області* переважають рівнинно-подові місцевості з південними солонцюватими чорноземами, темно-каштановими і каштановими ґрунтами у комплексі з солонцями й оглеєними ґрунтами подів. На Азовському узбережжі поширені лимано-сиваські та піщано-черепашникові місцевості кіс і пересипів із солончаками.

Крим

Кримський півострів — це своєрідна природна країна. На його території виділяють Кримську передгірно-рівнинну степову і Кримську гірську провінції.

Кримська передгірно-рівнинна степова провінція займає більшу, північну частину Кримського півострова. Для клімату характерні тривале тепле літо і коротка малосніжна зима. Тривалість безморозного періоду 175 – 225, вегетаційного — 230 – 255 діб. Сума активних температур — 3300 – 3450 град. Середньорічна кількість опадів змінюється з півночі на південь від 300 до 420 мм.

У ґрунтовому покриві простежується зональна зміна ґрунтів від каштанових і темно-каштанових солонцюватих, поєднаних із солонцями, до південних малогумусних солонцюватих чорноземів.

За характером ландшафтної структури в провінції виділяють такі області: Кримсько-Сиваська сухостепова низовинно-лиманна, Тарханкутська з хвилястими вододільно-останцевими й улоговинними місцевостями, Центральнокримська з вододільно-рівнинними і долинно-сухорічними місцевостями, Керченська з денудаційно-останцевими й улоговинними місцевостями.

Кримська гірська провінція простягається вздовж узбережжя Чорного моря від Севастополя до Феодосії на 150 км. Положення Кримських гір у смузі переходу від помірно теплого клімату до субтропічного поряд з особливостями рельєфу зумовлює й різноманітність ландшафтів. За природними умовами гірську частину Криму поділяють на три фізико-географічні області: Передгір'я, Головне гірське пасмо, Південний берег Криму.

Передгір'я, що включає Зовнішнє, Внутрішнє пасма та пониззя між ними, поєднує степові й лісостепові ландшафти. Область Головного гірського пасма виділяється гірсько-лісовими на схилах та гірсько-лучними остепненими ландшафтами на плоских вапнякових вершинах плато — яйлах.

Південний берег Криму має субтропічний ландшафт середземноморського типу. Тут поширені коричневі ґрунти під розрідженим дубово-ялівцевим лісом і кущами із середземноморськими видами рослин. Сучасний колорит ландшафтів визначають декоративна рослинність парків, плантації виноградників, сади із субтропічними плодовими деревами. З метою збереження цінної флори тут створено Ялтинський гірсько-лісовий заповідник та державний заповідник Мис Мартьян.

Ялтинський гірсько-лісовий заповідник має площу понад 14 тис. га. Його територія охоплює Головне пасмо Кримських гір, Ай-Петринську та Ялтинську яйли і південні схили гірського хребта, що оточує Ялтинський амфітеатр.

Гірські ліси належать до курортних лісових екосистем, переважна частина їх природного походження. Вони мають ґрунтозахисне, водоохоронне, бальнеологічне та естетичне значення. У поєднанні з приморським кліматом Південного берега Криму лісові екосистеми є унікальним лікувальним чинником. У лісових екосистемах зростає багато реліктових та ендемічних видів.

Державний заповідник Мис Мартьян має площу 240 га. Це один із небагатьох непорушених людиною куточків природи з реліктовою рослинністю середземноморського типу.

Українські Карпати

Українські Карпати є фізико-географічною провінцією Карпатської гірської країни. Крім власне гір до її складу входять Передкар-

паття та Закарпатська низовина, формування ландшафтів яких пов'язане з горами. Українські Карпати — середньовисокі гори з помірно теплим і вологим кліматом. Тут переважають гірські лісові та лучні полонинні ландшафти. У провінції виділяють шість фізико-географічних областей: Передкарпаття, Зовнішні Карпати, Вододільно-Верховинська, Полонинсько-Чорногірська, Рахівсько-Чивчинська та Закарпатська низовини.

Передкарпаття відповідає Передкарпатському крайовому прогину, складеному потужною дислокованою товщею морських неогенових відкладів. Тепловий і водний режими зумовили розвиток лучно-лісових ландшафтів із дерново-підзолистими, лучними і дерново-глейовими ґрунтами.

Область Зовнішніх Карпат відповідає Зовнішній антиклінальній зоні, утвореній переважно відкладами крейдяного і палеогенового віків. Характер рельєфу і вологий, помірно теплий клімат забезпечили розвиток лісових низько- і середньогірських ландшафтів із переважанням опідзолених буроземів.

Вододільно-Верховинська область за ландшафтом є низькогірно-увалистою верховиною з вторинними луками, хвойно-широколистяними лісами і сільськогосподарськими угіддями.

Полонинсько-Чорногірська область — найвища частина Українських Карпат. Тут найчіткіше виявляється вертикальна зональність ландшафтів. До висоти 1000 – 1200 м поширені букові ліси на дерново-буроземних опідзолених ґрунтах. Вище, на схилах до 1500 м — ялиново-смереково-букові ліси на гірсько-лісових бурих ґрунтах. Верхні частини схилів і виположені вершини хребтів займають криволісся та субальпійські луки (полонини). У Чорногорах, найвищій частині Карпат, функціонують три філіали Карпатського державного заповідника, а в низькогір'ї, над Верхньотисинською западиною, його четвертий філіал — «Уголька».

Рахівсько-Чивчинська область включає Рахівський гірський масив і Чивчини, що входять до Мармароського давнього кристалічного ядра Карпат. Виходи дислокованих кристалічних порід, значна глибина розчленування, велика стрімкість схилів виділяють цю область серед інших. Схили гір вкриті шпильково-широколистими лісами, на вершинах — субальпійські й альпійські луки.

Складчасті гірські скупчення відокремлюють Вулканічні Карпати від *Закарпатської низовини.* До складу області входить Вулканічний хребет, складений андезитами, базальтами, вулканічними туфами, а також Іршавська та Верхньотисинська міжгірні улоговини. Тут на бурих лісових ґрунтах ростуть букові ліси. Землі виположених нижніх схилів і передгір'я широко використовують під виноградники і сади. В Закарпатській низовині в природному стані переважали лучно-лісові ландшафти. Нині близько 55 % її площі займають орні землі, сади та городи.

Отже, знання природних умов і характерних природно-територіальних комплексів дає нам велику практичну користь, відкриває широкі можливості. Зокрема, дбаючи про розвиток інтенсивного сільського господарства, господарник має не тільки знати ґрунти, а й враховувати у своїй діяльності весь комплекс природних умов (району, області), найактивніші фізико-географічні процеси, особливо ті, що завдають шкоди народному господарству. Скажімо, якщо рішуче не боротися з такими явищами, як водна і вітрова ерозія, катастрофічні повені, селеві потоки, то вони можуть звести нанівець зусилля людей, спрямовані на підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва.

Бездумне осушування боліт у поліських районах подекуди призводить до розвіювання пісків, переосушення, зниження рівня ґрунтових вод та зменшення стоку річок. Водночас, широко впроваджуючи зрошування на посушливих землях півдня України, конче необхідно враховувати небезпеку вторинного засолення ґрунтів.

2.6. Найважливіші екологічні закони, що стосуються агроекосистем

Загальні відомості. Розглянемо закони, принципи, правила, які мають найбільше значення для розуміння процесів, що відбуваються в агроекосистемі, чинників і взаємозалежностей, що визначають її функціонування, здійснення практичних заходів щодо регулювання процесів з метою підтримання екологічної рівноваги і підвищення виходу корисної продукції. Сформулюємо їх та наведемо приклади використання у практичній діяльності.

Закон — необхідне, істотне, стійке відношення між явищами, предметами, їх складовими частинами, властивостями речей, а також між властивостями всередині речей.

Правило екологічне — сукупність природних закономірностей, що визначають функціонування популяцій, екосистем.

Закони екології умовно поділяють на такі групи: структурні, міжсистемні, функціональні, енергетичні, еволюційні.

1. Структурні закони

1.1. Закон фізико-хімічної єдності живої речовини

Вся жива речовина Землі фізико-хімічно єдина. Шкідливе для однієї частини або виду шкідливе і для іншої.

2. Міжсистемні закони

2.1. Закон зниження енергетичної ефективності природокористування

З плином історичного часу при отриманні з природних систем корисної продукції на її одиницю в середньому витрачається дедалі більше енергії.

2.2. Закон зростаючої родючості — урожайності

Агротехнічні та інші прогресивні прийоми ведення сільського господарства, що впроваджуються в практику землеробства, ведуть до збільшення урожайності полів.

2.3. Правило міри перетворення природних систем

Під час експлуатації природних систем не можна переходити меж, що дають цим системам змогу зберігати властивість самопідтримання і зазвичай пов'язані з помітною зміною систем трьох рівнів ієрархії (нижчого, такого самого і вищого).

Висновки

1. Господарського впливу зазнає не тільки та система, на яку він спрямований, а й надсистеми, що намагаються нівелювати зміни. У зв'язку з цим витрати на перетворення природи ніколи не обмежуються лише вкладами в безпосередньо заплановані впливи.

2. Вторинна екологічна рівновага, як правило, стійкіша за первинну, але потенційний «запас перетворення» при цьому скорочується.

2.4. Правило інтегрального ресурсу

Галузі господарства, що конкурують у сфері використання конкретних природних систем, завдають тим більшої шкоди одна одній, чим значніше вони змінюють екологічний компонент, який спільно експлуатується, або всю екосистему загалом.

2.5. Принцип ієрархічної організації

Будь-яка біологічна система складається з ієрархічно розміщених підсистем. З ускладненням структури (переходом від нижчого ієрархічного рівня до вищого) формуються додаткові (унікальні) властивості.

2.6. Принцип природності

Технічні системи керування природою з часом потребують дедалі більшого вкладання засобів аж до нераціональності їх підтримання, і тому природні («м'які») форми керування в кінцевому підсумку завжди ефективніші за технічні («жорсткі»).

2.7. Принцип обманливого добробуту

Перші успіхи або невдачі в природокористуванні можуть бути обманливими: успіх заходу щодо перетворення або керування природою об'єктивно оцінюється лише після з'ясування ходу і результатів природних ланцюгових реакцій у межах природного циклу (декілька років).

2.8. Принцип віддаленості події

Явище, віддалене в часі і просторі, здається менш істотним.

2.9. Принцип неповноти інформації (невизначеності)

Інформація при проведенні акцій щодо перетворення природи завжди недостатня для апріорного судження про всі можливі результати заходів, що вживаються.

3. Функціональні закони

3.1. Закон розвитку природної системи за рахунок навколишнього середовища

Будь-яка природна система може розвиватися тільки за рахунок використання матеріально-енергетичних та інформаційних можливостей навколишнього середовища.

Висновки

1. Абсолютно безвідходне виробництво неможливе. Першим етапом розвитку технологій має бути їх низька ресурсоємність (на вході і виході), другим — створення циклічності виробництв (відходи одних можуть слугувати сировиною для інших), третім — організація продуманого депонування (поховання) відходів і нейтралізація неминучих енергетичних відходів.

2. Будь-яка високоорганізована біотична система, середовище життя становить потенційну загрозу для низькоорганізованих систем. Вплив людини на природу потребує заходів щодо його нейтралізації.

3.2. Закони Дансеро

1. Оборотності біосфери. Біосфера після припинення впливу на її компоненти антропогенних чинників обов'язково намагається завоювати «втрачені позиції», тобто зберегти і відновити свою екологічну рівновагу та стійкість.

2. Зворотного зв'язку взаємодії людина — біосфера. Будь-яка зміна в природному середовищі, спричинена господарською діяльністю людини, має небажані наслідки для людини.

3. Незворотності взаємодії людина — біосфера. Частина відновлюваних природних ресурсів може стати невідновлюваною, якщо людина своїми нераціональними заходами унеможливить їх відновлення.

3.3. Закони Бауера

1. Розвиток біологічних систем — результат збільшення ефекту зовнішньої роботи біосистеми у відповідь на отриману із зовнішнього середовища одиницю енергії.

2. Біосистеми мають самовідновлюватись, оскільки вони постійно виконують роботу і руйнуються. Внаслідок самовідновлення біосистеми зберігають відносно середовища мешкання антиентропійний стан.

3.4. Закон максимізації енергії

У суперництві з іншими системами виживає (зберігається) та з них, яка найкраще сприяє надходженню енергії і використовує максимальну її кількість найефективнішим способом.

3.5. Закон рівноцінності всіх умов життя

Усі природні умови середовища, необхідні для життя, відіграють рівноцінну роль.

3.6. Закон сукупної дії природних чинників

Величина врожаю залежить не від окремих, навіть лімітувальних чинників, а від усієї системної сукупності екологічних чинників одночасно. Коефіцієнт дії кожного чинника різний і може бути обчислений.

3.7. Закон мінімуму

Витривалість організму визначається найслабкішою ланкою в ланцюзі його екологічних потреб. Організм певною мірою здатний замінити дефіцитний чинник на інший функціонально близький.

3.8. Закон неоднозначної дії чинників

Кожен екологічний чинник неоднаково впливає на різні функції організму; оптимум для одних процесів може бути песимумом для інших.

3.9. Закон толерантності Шелфорда

Лімітувальним чинником організму (популяції, виду) може бути як мінімум, так і максимум екологічного виливу, діапазон між якими визначає величину витривалості (*толерантності*) організму даного виду. Він визначає і положення, за яким будь-який надлишок речовини чи енергії стає забрудником середовища.

3.10. Закон фазових реакцій (екологічної токсикології)

Малі концентрації токсиканта діють на організм у напрямі підсилення його функцій (стимуляція), високі — у напрямі пригнічення (інгібування), ще вищі — призводять до смерті організму.

3.11. Закон оптимальності

Із найбільшою ефективністю будь-яка система функціонує в деяких просторово-часових межах. Необхідний пошук найкращих з погляду продуктивності розмірів сільськогосподарських полів, рослин, тварин.

3.12. Закон послідовності проходження фаз розвитку

Фази розвитку природної системи можуть іти лише в еволюційно установленому порядку — від простого до складного.

3.13. Правило оптимальної компонентної додатковості

Жодна екосистема не може самостійно існувати за штучно створеного значного надлишку або нестачі одного з екологічних компонентів.

3.14. Закон збіднення різнорідної живої речовини в острівних згущеннях

Індивідуальна система, що працює в середовищі з рівнем організації нижчим, ніж рівень самої системи, приречена і, поступово втрачаючи свою структуру, через деякий час розчиняється в навколишньому середовищі.

3.15. Правило обов'язковості заповнення екологічної ніші

Ніша, яка пустує, завжди природно заповнюється.

3.16. Правило географічного оптимуму

У центрі видового ареалу зазвичай складаються оптимальні для виду умови існування, які погіршуються до периферії зони мешкання виду.

3.17. Правило максимального «тиску життя»

Організми розмножуються з інтенсивністю, що забезпечує максимально можливе їх число, яке обмежене місткістю середовища та іншими чинниками.

3.18. Правило біологічного підсилення

Накопичення живими організмами хімічно стійких речовин (пестицидів, радіонуклідів тощо) призводить до біологічного підсилення їх дії в міру проходження біологічних циклів і трофічних ланцюгів.

3.19. Принцип раптового підсилення патогенності

Епідемії та епіфітотії спричинюються:

- раптовим або швидким вселенням патогенного агента з потенційно високою швидкістю росту в екосистему, в якій механізм регуляції його чисельності відсутній або малоефективний;
- різкими або дуже сильними змінами середовища, внаслідок чого зменшується енергія, потрібна для регуляції за принципом зворотного зв'язку або яким-небудь іншим способом, що порушує здатність системи до саморегуляції.

3.20. Закон екологічної кореляції

В екосистемі всі види живого та абіотичні екологічні компоненти функціонально відповідають один одному. Випадіння однієї частини системи призводить до виключення всіх тісно пов'язаних з нею інших частин системи і функціональної зміни цілого.

3.21. Біоценотичні принципи Тінемана

1. Чим різноманітніші умови існування, тим більше число видів у даному біоценозі.

2. Чим більше відхиляються від норми (оптимуму) умови існування, тим біднішій на види біоценоз і тим більше особин матиме кожен вид.

3.22. Принцип конкурентного виключення Гаузе

Два види не можуть існувати в одній місцевості, якщо їх екологічні потреби ідентичні, тобто якщо вони займають одну й ту саму екологічну нішу. За обмежених можливостей просторово-часового розподілу один із видів виробляє нову екологічну нішу або зникає.

3.23. Принцип сукцесійного заміщення

Біотичні угруповання формують закономірну низку екосистем, що веде до найстійкішої в даних умовах природної системи — клімаксової в суто природних умовах або вузлової за природно-антропогенного режиму.

3.24. Закон сукцесійного уповільнення

Процеси, що відбуваються у зрілих рівноважних системах, які перебувають у стані рівноваги, як правило виявляють тенденцію до уповільнення. Заходи, що вживаються, викликають ефект лише в початковій фазі.

4. Енергетичні закони

4.1. Перший закон термодинаміки (закон збереження енергії)

При всіх змінах, що відбуваються в ізольованій системі, загальна енергія системи залишається сталою:

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W,$$

де ΔU — внутрішня енергія; ΔQ — кількість теплоти, якою система обмінюється з навколишнім середовищем; ΔW — робота.

Загальна кількість енергії, що її отримує рослина, тварина або людина за певний період часу, виявляється: по-перше, у виділеній теплоті, по-друге — у зовнішній роботі або речовинах, які виділяються, по-третє — у збільшенні теплоти тіла в результаті росту або накопичення речовини.

4.2. Другий закон термодинаміки

Процеси, пов'язані з перетвореннями енергії, можуть відбуватися самочинно лише за умови, що енергія переходить із концентрованої форми в розсіяну.

Інше формулювання: оскільки частина енергії завжди розсіюється у вигляді недоступної для використання теплоти, ефективність самочинного перетворення кінетичної енергії на потенціальну завжди менша за 100 %.

4.3. Закон внутрішньої динамічної рівноваги

Речовина, енергія, інформація і динамічні якості окремих природних систем та їх ієрархії взаємопов'язані настільки, що будь-яка зміна одного з цих показників зумовлює супутні функціонально-структурні кількісні та якісні зміни, які зберігають загальну суму речовино-енергетичних, інформаційних, динамічних якостей систем.

Емпіричні наслідки

1. Правило ланцюгових реакцій

Будь-яка зміна середовища (речовини, енергії, динамічних якостей системи) супроводжується розвитком природних ланцюгових реакцій, спрямованих у бік нейтралізації цієї зміни.

2. Правило нелінійності внутрішніх взаємодій

Взаємодія речовино-енергетичних екологічних компонентів кількісно нелінійна, тобто слабкий вплив або зміна одного з показників може спричинити значні відхилення інших і всієї системи загалом.

3. Правило незворотності порушень

Зміни, що відбулися у великих екосистемах, відносно незворотні.

4. Правило сталості еколого-економічного потенціалу

Будь-яке місцеве перетворення природи зумовлює в глобальній сукупності біосфери і в її великих підрозділах відповідні реакції, які призводять до відносної незмінності еколого-економічного потенціалу.

4.4. Закон одностороннього потоку енергії в біоценозах

Енергія, що її отримує біоценоз шляхом ендотермічного фотосинтезу автотрофними організмами-продуцентами, разом з їх біомасою передається гетеротрофним організмам-консументам і мікроорганізмам-редуцентам. Напрямок цього енергетичного потоку незворотний і виражається у формі екологічної піраміди.

4.5. Правило Шредінгера

Для підтримання внутрішньої упорядкованості в системі необхідна постійна робота з вилучення невпорядкованості та підтримання процесів, спрямованих проти температурного градієнта.

4.6. Правило 1 %

Зміна енергетики природної системи в межах 1 % виводить природну систему з рівноважного стану (гомеостазу).

4.7. Правило 10 %

Середньомаксимальний перехід 10 % енергії (або речовини в енергетичному еквіваленті) з одного трофічного рівня екологічної піраміди на інший не призводить до несприятливих для екосистеми наслідків.

5. Еволюційні закони

5.1. Закон спрямованості еволюції

Загальний хід еволюції завжди націлений на пристосовуваність до геохронологічно змінюваних умов існування й обмежений ними.

5.2. Закон (правило) незворотності еволюції (Л. Долло)

Організми (популяції, види) не можуть повернутися до попереднього стану, якщо кілька поколінь їхніх предків пройшли певний шлях розвитку.

5.3. Закон прискорення еволюції

Швидкості формоутворення з плином геологічного часу зростають, а середня тривалість існування видів всередині більшої систематичної категорії зменшується; більш високоорганізовані форми існують менший період часу, ніж низькоорганізовані.

5.4. Закон еволюційно-екологічної незворотності

Екосистема, яка втратила частину своїх елементів або замінилася на іншу внаслідок дисбалансу компонентів, не може повернутися до свого початкового стану, якщо відбулися еволюційні (мікроеволюційні) зміни в екологічних елементах (збережених або тимчасово втрачених).

5.5. Закон біоенергетичний (Е. Геккеля і Ф. Мюллера)

Організм (особина) в індивідуальному розвитку (онтогенез) повторює в скороченому і закономірно зміненому вигляді історичний (еволюційний) розвиток свого виду (філогенез).

Запитання для самоконтролю

1. Що таке екосистема і біоценоз? **2.** Перелічіть ознаки, за якими виділяють різні екосистеми. **3.** Що таке біосфера? Хто з учених розробляв концепцію біосфери? **4.** Хто є творцем ноосферної концепції? **5.** Яке значення води у функціонуванні біосфери? **6.** Що таке агроекосистема? Назвіть екологічні чинники агроекосистеми. **7.** Яке значення біотичних чинників в агроекосистемі? **8.** Поясність суть і значення фотосинтезу. **9.** В чому полягає суть закону зростаючої родючості ґрунту — урожайності? **10.** Схарактеризуйте природні ресурси Поліської зони України.





Розділ 3

АГРОФІТОЦЕНОЗ ТА ЗООЦЕНОЗ

3.1. Основні відомості про агрофітоценоз

Крім природних фітоценозів значні площі планети займають угруповання сільськогосподарських і лісогосподарських рослин, які створені, підтримуються і регулюються людиною. Сільськогосподарські штучні фітосистеми, або агрофітоценози, мають свої характерні особливості. Слід наголосити, що людина створює агрофітоценози, але вони завжди самі трансформуються в агробіоценози, оскільки в штучних рослинних угрупованнях знаходяться вільні екологічні ніші, особливо для гетеротрофних організмів.

Агрофітоценоз (від грец. *agros* — поле, *phyton* — рослина, *koinos* — загальний, спільний) — рослинне угруповання, створене людиною в результаті посіву чи посадки культурних рослин. Спираючись на багатовіковий досвід, людина розробила цілий комплекс агротехнічних заходів щодо вирощування культурних рослин, найважливішими з яких є розпушування ґрунту, внесення добрив, сівозміна, регулювання водного і повітряного режимів ґрунту, боротьба зі шкідниками і бур'янами. З'явилися штучні рослинні угруповання ще в антропогенні часи, тобто близько 10 – 15 тис. років тому. Першими посівами були хлібні злаки. При цьому поряд з вирощуваними культурами на полях зберігалися деякі з рослин, які росли тут до посіву, та види з природною властивістю до самостійного оселення на окультурених ґрунтах. Такі види пристосувалися до життя серед сільськогосподарських рослин і стали їх супутниками-бур'янами. Крім бур'янів до складу агрофітоценозів включалися специфічні бактерії, водорості, гриби. В результаті антропогенної

діяльності створювалися нові, штучні та регульовані людиною агрофітоценози.

Такий процес стабільніше забезпечував продуктами харчування первісну людину і певною мірою був прогресивним порівняно з отриманням їжі з природного рослинного покриву. В результаті створювалися нові агрофітоценози і водночас розширювалися сільськогосподарські угіддя. Щорічний приріст населення на планеті Земля зумовлював освоєння нових потенційно придатних площ з певною родючістю ґрунту. Нині в світі розорано не менш як 17 млн км^2, тобто 10 % площі суходолу, і майже 50 млн км^2 займають пасовища та сінокоси. Тому агрофітоценози — невід'ємні складові сучасного рослинного покриву. Едифікатори агрофітоценозів — це вирощувані культурні рослини. Травостій цих рослин формує людина, вони є основними продуцентами штучних екосистем. Людина не тільки готує площу для створення відповідного агрофітоценозу, а й за потреби змінює ґрунтові умови життя рослин, вологість і висіває насіння домінантів. Інші компоненти зазвичай з'являються в складі угруповання поза волею людини. Отже, штучне рослинне угруповання, або агрофітоценоз, складається з певних видів рослин. Рослини, які зростають на полях і є сталими елементами агрофітоценозу, називають *компонентами*. Основу агрофітоценозу становлять культурні рослини, тобто *едифікатори*. Отже, ***едифікатори*** — це культурні рослини полів, городів і садів; про їхню домінантну роль дбає людина.

Одна рослина впливає на іншу як безпосередньо, так і опосередковано (через зміну умов середовища). Пряму дію добре спостерігати при паразитизмі. ***Паразитизм*** — одна із форм взаємовідносин організмів різних видів у фітоценозі. Наприклад, на посівах льону звичайного можна спостерігати негативну дію однорічної рослини-паразита з ниткоподібним зеленкувато-жовтим стеблом, що обвиває стебла льону і присмоктується до них за допомогою особливих присосків — гаусторіїв. Повитиця льонова досить поширена у всіх льоносіючих районах України, поширюється переважно з насінням льону. Це типова біотрофія, коли повитиця льонова живе за рахунок льону звичайного або вовчок соняшниковий на соняшнику однорічному. Особини льону звичайного, соняшника однорічного є живителями паразитів, тому їх життєдіяльність пригнічується, іноді вони гинуть. Крім паразитичних, в агрофітоценозах і фітоценозах поширені напівпаразитичні взаємовідносини. Так, на Поліссі та в лісостепу поширений дзвінець великий, який паразитує на озимому житі й інших злакових, завдає значної шкоди також на луках. Дзвінець весняний — близький вид, який трапляється на луках, лісових галявинах, інколи в посівах.

У фітоценозах і агрофітоценозах поширений ***симбіоз*** — форма тривалого співжиття організмів різних видів, за якого обидва парт-

нери (симбіонти) мають від цього певну вигоду. Симбіоз має надзвичайно різноманітний характер і різниться безпосередніми трофічними зв'язками (бобові рослини і бульбочкові бактерії; рослини і мікоризні гриби). Березка польова, обвиваючи стебла пшениці, спричинює механічний тиск на її тканини і негативно впливає на продуктивність. Сільськогосподарські рослини можуть виділяти коріннням фізіологічно активні речовини, які пригнічують ріст деяких бур'янів. Так, овес посівний пригнічує ріст маку польового, а жито посівне — гірчиці польової. Встановлено і взаємний обмін кориснимі кореневими виділеннями між сільськогосподарськими рослинами та бур'янами.

Агрофітоценоз має певні флористичний склад, структуру, взаємовідносини особин рослин одна з одною та довколишнім середовищем. Від природних угруповань агрофітоценоз різниться цілеспрямованим посівом домінантних рослин, простішою структурою, спрямованою заміною іншими запланованими агрофітоценозами у сівозміні, недовговічністю існування угруповання та відсутністю здатності до поновлення.

Наприклад, на полі озимої пшениці (домінанта й едифікатор) зазвичай зростають бур'яни — талабан польовий, волошка синя, мак польовий, бромус житній, триреберник непахучий. Це рослинне угруповання має багатоярусну структуру, між особинами видів існує конкуренція за світло, воду, поживні речовини. Встановлюються певні взаємовідносини з довколишнім середовищем. Елементи саморегуляції цього рослинного угруповання досить слабкі, а сам фітоценоз є досить нестійким і нездатним до самовідтворення. Навіть за умови, коли не зібрати насіння пшениці, то вже наступного року вона не збереже домінуючого положення і разом з бур'янами буде витіснена більш конкурентоспроможними видами.

3.2. Видовий склад і просторово-часова організація агрофітоценозу

Видовий або флористичний склад угруповань (видове багатство) — це перелік видів, які трапляються в ньому. Число видів, які можна знайти у даному угрупованні на певній одиниці площі (1, 10 або 100 м^2), називають *видовою насиченістю*. Агрофітоценоз характеризується обов'язковим домінуванням вирощуваних культурних рослин, які чинять основний вплив на формування біотопних особливостей цієї штучної системи. Зазвичай культурні види вирощують переважно як одновидові популяції. Залежно від умов вирощування, періоду онтогенетичного розвитку та морфолого-фізіологічних особливостей культури її едифікаторна роль різна. Найсильніші

едифікаторні властивості мають багаторічні трави. За ступенем їх ослаблення однорічні культури утворюють такий ряд: озимі, ярі колосові, зернобобові, ярі просапні, баштанні, овочеві. В сільськогосподарській практиці за едифікаторним ефектом виділяють три групи культур:

• *сильноедифікаторні* — культури суцільного посіву, які формують густий травостій (проективне покриття близько 100 %), високорослий (до 3 м) або середньорослий, зазвичай швидко розвивається після посіву, рано відростає навесні — жито, ріпак, соняшник на силос;

• *середньоедифікаторні* — рослини суцільного посіву та рядкового весняного посіву, досить високорослі (до 1,5 м, проективне покриття 75 – 80 %), зазвичай швидко ростуть після появи сходів — ярі зернові, в тім числі рис, гречка, просо, соя;

• *слабкоедифікаторні* — рослини рядкового посіву з широкими або нешироκими міжряддями, культури суцільного посіву, низькорослі, що повільно розвиваються після появи сходів (проективне покриття менш як 40 %) — баштанні, більшість овочевих (морква, капуста, цибуля та ін.), горох, цукровий буряк, льон.

Бур'яни — це супутники культурних рослин поля і городу. Вони є другим автотрофним компонентом агрофітоценозу. Їх поділяють на дві групи: сегетальні та рудеральні. *Сегетальні* бур'яни засмічують польові й городні культури, рудеральні — оселяються на смітниках, узбіччях шляхів, вони також потрапляють на сільськогосподарські землі й завдають великої шкоди сільськогосподарському виробництву. Культурні рослини і бур'яни — об'єкти вторинних місцезростань, еволюція яких відбувалася за участю людини, тобто агрофіти з'явилися з розвитком землеробства. В Європі вони поширились, починаючи з пізнього кам'яного віку (5000 – 6000 років тому).

Види рослин, які відомі з археологічних знахідок як бур'яни з доісторичного часу, називають ***археофітами***. Найдавніші бур'яни — волошка синя, кукіль звичайний, маки, стоколос житній, ромашка непахуча, талабан польовий, рутка лікарська, сокирки польові. Всі вони поширювалися разом із вирощуваними культурними рослинами з Середньої Азії або Середземномор'я. В бронзовому віці цей список поповнили люцерна хмелевидна, фіалка триколірна. Серед бур'янів є і ***неофіти*** — занесені рослини, які з'явилися в агрофітоценозах в історично недавній час. Так, злинка канадська була завезена в Європу в 1655 р. з Північної Америки, а галінсога дрібноцвіта — з Мексики у 1880 р. Кількість неофітів зростала з розвитком землеробства, транспорту, збільшенням перевезень вантажів та переміщенням людей. Рослини, які поширилися в місцевій флорі за участю людини (культурні бур'яни) і живуть на місцях зростання, створених людиною, називають ***антропофітами***.

Аборигенні рослини, які поширилися з природних місцезростань на орні землі, називають ***апофітами***. Види місцевої флори, що знаходять сприятливі умови для росту і розвитку на полях, стають злісними бур'янами — пирій повзучий, осот жовтий польовий, глуха кропива пурпурова, лобода біла, лобода багатонасінна, зірочник середній (мокрець).

Забур'яненість полів призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур і завдає величезних збитків виробникам сільськогосподарської продукції. Аби запобігти цьому, з бур'янами ведуть боротьбу, вдаючись до агротехнічних, хімічних і біологічних заходів. Однак є чимало рослин, які хоч і належать до бур'янів (якщо вони ростуть на городах чи полях), та водночас мають лікувальні властивості (рутка лікарська, череда трироздільна, сухоцвіт багновий, чистотіл звичайний), є добрими медоносами або навіть належать до рідкісних, зникаючих видів. Тому на необроблюваних землях такі рослини необхідно не тільки зберігати, а й сприяти їхньому розмноженню і поширенню.

Отже, бур'янами слід вважати рослини, які самостійно з'являються у посівах чи насадженнях сільськогосподарських культур, на орних землях, у садових, лісових, декоративних та інших насадженнях і угіддях. Крім того, до бур'янів належать отруйні й неїстівні рослини природних лук, пасовищ, а також види, що ростуть на неорних землях, звідки вони можуть поширюватися на сільськогосподарські угіддя. На сучасному етапі розвитку землеробства застосовують інтегровану систему захисту рослин від бур'янів, компонентами якої є агротехнічні, хімічні, біологічні та інші засоби. Найчисленнішими як за кількістю видів, так і за кількістю особин є однорічні бур'яни, що мають досить високу насіннєву продуктивність. Так, одна рослина лободи білої продукує до 100 тис. насінин, а щириці загнутої — до 1 млн, частка одно- і дворічних бур'янів досягає 70 % усієї забур'яненості сільськогосподарських угідь. Найсприятливіші умови для бур'янів складаються в посівах однорічних культур, тоді як у багаторічних травах вони натикаються на сильну конкуренцію з домінантною культурою. Серед однорічних та озимих бур'янів різко переважають антропофіти, а серед багаторічних — апофіти, представники місцевих природних фітоценозів. Бур'яни-антропофіти, які були створені людиною проти власної волі одночасно з однорічними культурними рослинами, як і основна культура є однорічними.

За період свого існування бур'яни добре пристосувалися до штучних умов вирощування домінантної культури, а також до екстремальних умов, за яких агротехнічні та хімічні засоби боротьби спрямовані на їх знищення.

У процесі еволюції значно поширилися види, які найбільш пристосовані до умов поля і мають:

• однакові з домінантною культурою вимоги до довколишнього середовища;

• короткий період вегетації;

• підвищену енергію насіннєвого і вегетативного розмноження;

• велику насіннєву продуктивність;

• раннє дозрівання та осипання насіння задовго до збирання основної культури (тому насіння залишається в ґрунті);

• насіння, яке сходить за температури нижчої ніж 10 °С і може проростати без періоду спокою, але максимальну схожість має після перезимівлі;

• розтягнутий до десяти років період проростання (щорічні сходи становлять менш як 1 % запасу насіння в ґрунті);

• здатність до скарифікації, що сприяє проростанню насіння після знищення бур'яну.

Бур'янова флора агрофітоценозів залежить від вологозабезпеченості, запасу поживних речовин, рівня агротехніки, внесення насіння з гноєм, перенесення його вітром (анемохорія), водою (гідрохорія), тваринами (зоохорія), людиною (антропохорія). У процесі еволюції сформувалося багато пристосувань, які сприяють поширенню насіння: крильчасті вирости, волоски, гачки, щетинки, шипи та ін. Особливо важливо враховувати попередника, оскільки в ґрунті знаходиться великий запас насіння бур'янів. Вплив попередника на потенційну засміченість агрофітоценозу істотніший зі вплив домінантної культури.

В агрофітоценозі, де переважає один вид культурних рослин, формується одновікова, морфологічно вирівняна ценопопуляція, різноманітність супутніх організмів обмежена. Тому така штучна екосистема характеризується невеликим числом видів, наприклад різноманітних грибів. Значення ґрунтових грибів як мінералізаторів у агрофітоценозі не менше, ніж у природних угрупованнях. Пожнивні рештки сприяють формуванню мікрофлори, де важливу функцію виконують сумчасті та базидіальні гриби, які розкладають целюлозу. Більшість вирощуваних рослин, у тім числі хлібні злаки і плодові дерева, мають мікоризу. Ризосферні організми (бактерії, гриби та ін.) відіграють важливу роль у процесі поглинання речовин корінцями та забезпечення азотом (за наявності азотфіксаторів) і біологічно активними речовинами, наприклад вітамінами. Ціанобактерії-азотфіксатори (носток, анабена) в ґрунті агрофітоценозів озимих зернових розвинені більш ніж у посівах ярих колосових і просапних культур, особливо навесні. Загалом агрофітоценоз має простіші внутрішні зв'язки, ніж природний фітоценоз, і це зменшує його здатність до самовідтворення та саморегуляції.

Структура і динаміка. Незважаючи на різноманітність компонентів агрофітоценозу, головними організаційними елементами йо-

го структури завжди є культурні рослини та бур'яни. Структурна організація агрофітоценозу досить спрощена, як і структура природних фітоценозів у тих же екологічних умовах. Чисті одновидові посіви за відсутності бур'янів є одноярусними угрупованнями. Зі зростанням забур'яненості ниви проявляється вертикальне розчленування агрофітоценозу, тобто формується його ярусність. Переважно верхній ярус формують культурні рослини, забур'янені вівсюгом, осотом польовим, будяком кучерявим. Бур'яни можуть сформувати і свій власний ярус над ярусом сільськогосподарських рослин. Середній ярус угруповання можуть утворювати волошка синя в агрофітоценозі жита або лобода біла та щириця загнута в посівах кукурудзи звичайної. Нижній ярус (до 25 см) формують такі бур'яни, як фіалка польова, грицики звичайні, галінсога дрібноцвіта, талабан польовий, незабудка польова. Виткі бур'яни (березка польова, гірчак березковидний, гірчак шорсткий) є позаярусними рослинами.

Ярусне розміщення бур'янів в агрофітоценозах засвідчує їх вимогливість до світла. Більшість бур'янів — це світлолюбні рослини. Найшкідливіші бур'яни розміщуються у верхньому та середньому ярусах агрофітоценозу, розвивають чималу надземну фітомасу, яка затінює культурні рослини. Бур'яни нижнього ярусу конкурують із сільськогосподарськими рослинами за вологу та мінеральні речовини, але не за світло. Ярусність в агрофітоценозах простежується не лише в надземній частині, а й у підземній — в розміщенні кореневих систем.

Аспективність агрофітоценозу цілком залежить від екології культури рослини, тому на добре обробленому полі мозаїчність не виявляється. Вона можлива тільки за недосконалої агротехніки при посіві. За масового розвитку бур'янів може розвиватися аспективність агрофітоценозу, тобто його фізіономність. Так, на засмічених посівах ярих зернових поле змінюється спочатку зеленим, а з часом — солом'яно-жовтим аспектом злаків та бур'янів.

Сезонна мінливість кількості бур'янів в агрофітоценозах характеризується швидким зростанням числа особин на одиницю площі залежно від погодних умов року. За достатньої кількості вологи і тепла бур'яни добре проростають і з часом формують генеративні органи. Строки генеративної фази залежать від погодних умов, що забезпечує їм високі пристосувальну здатність та стійкість.

Різнорічна динаміка пов'язана зі зміною погодних умов, але вона не призводить до істотних змін в агрофітоценозі, оскільки домінантність сільськогосподарської культури зберігається. Склад і кількість бур'янів можуть варіювати. Так, періодично спостерігається масове розмноження кудрявця Софії в лісостепових і особливо степових районах після вологої осені.

Докорінна зміна агрофітоценозів пов'язана із сівозмінами і підлягає агрономічному контролю. Конкретні агрофітоценози можна

розглядати як агрофази лише одного агроекоциклу, період якого відповідає одній ротації сівозміни. Короткотривалість існування одного агрофітоценозу в такому циклі призводить до повної заміни культури (домінанта) та певної зміни малорічних і незначної зміни в складі багаторічних бур'янів.

Фітоекологи розрізняють два пороги чисельності бур'янів: *екологічний*, коли врожай сільськогосподарських культур вірогідно знижується через бур'яни, та *економічний*, за якого ціна гербіцидів нижча, ніж ціна приросту врожаю.

Співжиття в агрофітоценозах. Можливість спільного зростання різних видів зумовлена їхньою екологічною, біологічною специфікою, а також неординарністю умов зростання. Кожен вид у фітоценозі займає свою екологічну нішу. Певна ніша характеризується горизонтами середовища, де розміщені надземна і підземна частини фітомаси тіла рослини. Отже, чим різноманітніший видовий склад угруповання, тим повніше використовується потенціал місцезростання за можливого мінімуму конкуренції.

В екології під *екологічною нішею* розуміють фізичний простір із властивими йому екологічними умовами, що визначають існування будь-якого організму, тобто це місце виду в природі, яке характеризує не лише розміщення його в просторі, а й функціональну роль у біоценозі та відношення до абіотичних чинників середовища існування. Водночас екологічна ніша відбиває ступінь біологічної спеціалізації даного виду.

Оскільки в агрофітоценозі умови зростання переважно одноманітні (оранка, добрива тощо) й вирощується тільки одна культура, всі особини якої здатні однаково поглинати сонячну енергію, воду, мінеральні елементи, то надзвичайне значення має внутрішньовидова конкуренція. Конкуренцію в агрофітоценозі регулює людина за допомогою норми висіву. Розмір площі живлення в однакових ґрунтово-кліматичних умовах залежить від видової специфічності, причому в сільськогосподарських культур та їхніх бур'янів виробилась здатність успішно зростати в густіших травостоях, ніж рослини природної флори. Наприклад, за однакової площі живлення (3×3 см) відмирання особин романа напівфарбувального до періоду плодоношення досягає 60 %, у льону, гречки та їхніх спеціалізованих бур'янів (шпергель польовий, гірчак льоновий) випадання не спостерігається.

З поліпшенням умов зростання підвищується міцність рослин і водночас їх вплив одна на одну, що призводить до конкуренції та відмирання особин. У період зростання конкуренція йде в основному за воду й елементи живлення, тому в цей період відмирають особини зі слабкорозвиненою кореневою системою. З розвитком надземної фітомаси посилюється конкуренція за світло. Збільшення густоти посіву певною мірою сприяє формуванню сприятливого мікро-

клімату: зменшуються транспірація й випаровування і навіть нівелюється коливання температури, ослаблюється механічна дія вітру. З підвищенням норми висіву збільшується кількість особин на одиницю площі, але водночас зменшується їх могутність. Тому максимальний урожай формується за певної середньої кількості особин. Для кожної сільськогосподарської культури ця величина різна й зумовлюється умовами зростання.

Міжвидова конкуренція в агрофітоценозах виникає між висіяними культурними рослинами та бур'янами за світло, вологу, поживні речовини. Осот польовий для утворення 3,6 т зеленої фітомаси поглинає з ґрунту таку кількість поживних речовин, якої було б достатньо для отримання 3,2 т зерна або майже 20 т коренеплодів цукрового буряку.

Конкурентоспроможність видів змінюється залежно від умов зростання. Забезпеченням оптимальних умов культурним рослинам підвищують їх конкурентність. Тому агротехніка фактично регулює співжиття культурних рослин і бур'янів. Якщо внесення органічних добрив сприяє швидкому масовому розвитку бур'янів, воно може призвести до зниження, а не до підвищення врожаю вирощуваної культури.

Під час створення сучасних високоурожайних сортів зернових добирали рослини, які більшу частину пластичних речовин фотосинтезу витрачають на формування насіння, тобто на збільшення врожаю. Такі рослини — неконкурентоспроможні, вони пристосовані до вузького спектра екологічних чинників і потребують високої технології вирощування, бо за старими технологіями їх продуктивність буде низькою. В цьому разі продуктивнішими будуть старі сорти.

В агрофітоценозах простежується значний взаємовплив через кореневі виділення і метаболіти ризосферних організмів. Із корінців у ґрунт виділяються різноманітні органічні речовини, які сприяють конкуренції мікроорганізмів, формується особливе для кожної культури середовище, здатне впливати на конкурентні взаємовідносини в угрупованні.

Так, із корінців пшениці в ґрунт виділяється до 10 різних цукрів, 19 амінокислот, 10 органічних кислот, 3 нуклеотиди та 3 ферменти. Експериментально встановлено, що чимало рослин виділяє речовини, які пригнічують проростання насіння і розвиток паростків інших видів. В агрофітоценозах алопатична дія одних рослин на інші важливіша, ніж у природних угрупованнях, де еволюція організмів відбувалася одночасно, тому збереглися тільки алопатично стійкі один до одного види. Інтродуковані або випадково занесені людиною види можуть пригнічувати аборигенні і навпаки.

Алелопатія — взаємний хімічний вплив сумісно існуючих організмів шляхом виділення ними в навколишнє середовище проду-

ктів своєї життєдіяльності (фітонциди, ефірні олії тощо). Явище алелопатії враховують при вирощуванні сільськогосподарських культур (сівозміни, повторні посіви культур-санітарів, добір культур для змішаних посівів тощо).

Паразитизм — антагоністична форма взаємодії двох різних організмів, за якої один із них (паразит) використовує іншого (хазяїна) як джерело їжі або середовище оселення. Відомий серед усіх груп організмів. Паразити можуть бути обов'язковими (облігатними) і факультативними — здатними переходити до іншого способу життя та живлення, тимчасовими і стаціонарними. Серед стаціонарних паразитів виділяють ендопаразитів, які оселяються в тканинах різних органів. Паразити завдають шкоди сільському господарству. У природі вони регулюють чисельність популяцій рослин і тварин, на цьому ґрунтується їх застосування для боротьби зі шкідниками та збудниками хвороб.

Внаслідок господарської діяльності людини відбувається відчуження надземної (сінокоси, пасовища, поля), а інколи й підземної (збір коренеплодів цукрового буряку, моркви тощо) фітомаси, що різко знижує здатність агрофітоценозів змінювати навколишнє середовище. Водночас культурні рослини — домінанти агроценозів — істотно змінюють мікрокліматичні умови в посівах, перетворюючи екотоп на біотоп. Важливу роль у конкурентній боротьбі між культурними рослинами і бур'янами відіграє освітлення. Під наметом добре розвиненого травостою культурних рослин створюються умови, за яких сходи бур'янів, як правило, не можуть зростати або пригнічені і їхнє розмноження припинене.

Регулюванням строків посіву та норм висіву вдається підвищити конкурентну стійкість культурних рослин. Сучасна агротехніка, яка передбачена для інтенсивних сортів, у багатьох випадках забезпечує зрідження і загибель бур'янів внаслідок затінення. В разі ослаблення конкурентоспроможності культури спостерігається швидкий розвиток бур'янів. Очищення окремих земель від бур'янів за інтенсивного землеробства є результатом системи агротехніки, коли створено оптимальні умови для розвитку культури та знешкодження бур'янів, а також усунено можливість засмічення сільськогосподарських угідь.

Однією з важливих характеристик агроекосистем є співвідношення в них посівних площ, пасовищ та поголів'я свійських тварин. У сільськогосподарському виробництві це співвідношення зазвичай оцінюють за кількістю поголів'я худоби на гектар землі. Нормативи утримання тварин залежать від родючості ґрунту та типів його господарського використання. Згідно з балансовими розрахунками, для Східної Європи з урахуванням колообігу речовин у системі ферма — гній — засіяна площа — навколишнє середовище, на 1 га ріл-

лі доцільно мати від 0,8 – 1,1 до 2,2 – 3,0 умовних голів великої рогатої худоби. Відхилення від цих параметрів завжди має однакові наслідки: або дефіцит гною та деградацію ґрунту через заміну органічних добрив на мінеральні, або деградацію агроекосистеми у зв'язку з необхідністю інтенсифікації процесу кормовиробництва.

Має значення синхронізація життєдіяльності вищих рослин та мікроорганізмів у ґрунті. Вона визначає родючість ґрунту, стабілізує запаси поживних речовин і замикає колообіг речовин. Співжиття в ґрунті зовні малопомітне, але дуже важливе. Відомо, що в середньому в орному шарі на 1 га живе 500 кг дощових черв'яків, 50 кг нематод, 40 кг ґрунтових ракоподібних і 20 кг змій та гризунів. На кожен 1 м^2 ріллі припадає 2 – 3 кг внутрішньоґрунтової живої речовини, з якої 1,5 кг — це корені рослин.

У межах окремого посіву (або стада) стійкість видів забезпечується їхнім генетичним різноманіттям та проживанням у стабільному екологічному середовищі. Якщо практика сільського господарства враховує другу частину цього принципу і намагається зрівняти й оптимізувати умови існування в агроекосистемах, то перша його частина порушується. Основою рослинництва і тваринництва є посіви і стада, що сформовані з генетично однорідних груп рослин або тварин. Цим великою мірою визначається вразливість агроекосистеми шкідниками, бур'янами, хворобами, які знаходять для себе сприятливе середовище у вигляді сконцентрованих кормів і ресурсів.

Зовні найбільш очевидними співмешканцями культурних рослин і свійських тварин в агроекосистемах є бур'яни та комахи-шкідники. Як уже зазначалось, за походженням бур'яни поділяють на дві основні групи: *агрофіти* — справжні бур'яни, що пов'язані з культурними рослинами протягом багатьох тисячоліть; *апофіти* — вихідці з місцевої флори.

Загальна кількість видів бур'янів, шкідників, патогенних мікроорганізмів обчислюється десятками тисяч.

3.3. Еколого-фітобіологічні особливості основних сільськогосподарських культур і бур'янів

Накопичений у землеробстві експериментальний матеріал і виробнича практика засвідчують, що найтісніші зв'язки і залежності існують між технологіями вирощування культур, рельєфом і ґрунтом. Крім того, на вибір та оперативне коригування технологій вирощування культур значною мірою впливають погодні умови, попередник, добрива, забур'янення полів. У конкретних ситуаціях ступінь важливості тих чи інших чинників може істотно змінюватись, що зумовлює диференційований підхід до систем обробітку ґрунту,

застосування добрив, догляду за посівами сільськогосподарських культур. Диференційований підхід передбачає не тільки обґрунтоване поєднання прийомів обробітку ґрунту, застосування добрив, догляду за посівами, а й максимальне використання біологічних чинників у створенні оптимальних фізичних і агрохімічних властивостей ґрунту, захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб.

Теоретичні узагальнення досягнень науки в усіх галузях землеробства, особливо в фітобіології рослин, створення нових високоврожайних, стійких до несприятливих умов сортів сільськогосподарських культур у поєднанні з новою технікою і високоефективними засобами захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, дають змогу широко і швидко впроваджувати прогресивні технології у виробництво. За високих продуктивності та якості сільськогосподарської продукції ці технології мають бути екологічно нешкідливими стосовно всіх компонентів навколишнього середовища, і насамперед до такого безцінного та вразливого, яким є ґрунт. При застосуванні тих чи інших агротехнічних і технологічних заходів передбачають їх дію на ґрунт, ґрунтові та підґрунтові води, повітряне середовище, саму рослину, створюють умови, щоб кожна культура могла проявити потенційну біологічну продуктивність без завдавання шкоди навколишньому середовищу.

Як уже зазначалося, культурні рослини посідають центральне місце в агрофітоценозі — це головний компонент, ядро агроекологічної системи. Вони здійснюють найсильніший, нерідко домінуючий вплив на агроекосистему. Рослини-домінанти — не тільки компонент фітоценозу, а й важливий екологічний чинник, який всебічно впливає на навколишнє середовище, екологічну обстановку, що складається в агроекосистемі, тому вони отримали назву «едифікатори». Едифікаторна роль культурних рослин різних видів неоднакова. За ступенем зменшення едифікаторного впливу, за Н.Є. Воробйовим, їх можна розмістити в такий ряд: багаторічні трави, озимі колосові культури, ярі колосові культури, зернобобові, ярі просапні (картопля, кукурудза, соняшник), баштанні, овочеві.

Багаторічні трави. Травам загалом властива низька вимогливість до умов вирощування і дуже висока екологічна пластичність. Водночас вони мають істотні відміни, зумовлені фітобіологією рослин, різним типом кореневої системи, неоднаковим відношенням до чинників середовища.

Стрижньові корені бобових трав глибоко проникають у ґрунт, тому вони дуже чутливі до рівнів підґрунтових вод. У злакових трав коренева система теж добре розвинена, але вона мичкувата і характер її розподілу зовсім інший. Група злакових багаторічних трав стійкіша до тривалого вирощування на одному місці, ніж бобових. Всі ці особливості і визначають взаємовідношення трав з навколи-

шнім середовищем, у тім числі й відношення до едафічного чинника. Значення ґрунтової екології трав — одна з важливих умов успішного їх вирощування.

Конюшина лучна — головна кормова культура в сівозмінах Українського Полісся. Вона як і інші бобові трави сприяє підвищенню родючості ґрунтів. Конюшина лучна — вологолюбна і кальціефільна культура, потребує слабкокислих ґрунтів. Для отримання високих врожаїв зеленої фітомаси конюшини бажано мати вологість ґрунту 80 % НВ до цвітіння і 60 % — під час цвітіння.

Вона вимоглива до реакції ґрунтового розчину (оптимальний pH 6 – 7). На кислих і лужних ґрунтах росте незадовільно. Добрі врожаї конюшини лучної можна отримати на окультурених і провапнованих дерново-підзолистих суглинкових ґрунтах, гірше росте вона на супіщаних і піщаних ґрунтах легкого гранулометричного складу.

Із злакових багаторічних трав на Поліссі широко культивується як у чистому вигляді, так і в суміші з конюшиною лучною *тимофіївка лучна*. Ця вологолюбна рослина погано переносить ґрунтову і повітряну посуху, але пристосована до широкого діапазону (4,5 – 8,0) значень pH. Краще росте на ґрунтах важкого гранулометричного складу.

Люцерна — дуже цінна кормова бобова багаторічна культура. В Україні налічується понад 30 видів люцерни, що трапляється в культурному і дикому стані. Практичного значення і поширення набули два її види — люцерна посівна (Medicago sativa) і люцерна тендерська (Medicago falcata), які різняться один від одного певними морфологічними ознаками та біологічними особливостями.

Люцерна — багаторічна бобова рослина, її коренева система потужна — до 5 м, розгалужена, з великою кількістю бічних коренів, що дає змогу добре використовувати вологу з нижніх шарів ґрунту. Посухостійка, витримує засолення ґрунтів, вимоглива до їх аерації, погано переносить затінення і високу кислотність ґрунту (оптимальний pH 7 – 9). Погано росте на перезволожених, із близьким стоянням ґрунтових вод ґрунтах. Кращими для люцерни є чорноземні, суглинкові і супіщані добре аеровані ґрунти. Найкращі умови для її культивування в Лісостепу і Північному степу України.

Разом з тим слід наголосити, що подальший ріст продуктивності кормових культур зумовлюється *адаптивним потенціалом*, що має екологогенетичну основу. Адаптивний потенціал сільськогосподарських культур відбиває їх здатність до зростання в різних умовах зовнішнього середовища за рахунок онтогенетичної й генетичної мінливості. Добрим прикладом цього є популяція горбашівської люцерни. Він переконує, що гібридизація є основним способом поліпшення існуючих та створення нових сортів для різноманітних еко-

логічних умов, зокрема для зони Полісся України. Віддалена гібридизація, як неодноразово наголошував М.Г. Попов, мала вирішальне значення в створенні різноманітних сільськогосподарських, у тім числі і плодових, культур. Тому найдоступнішим і найефективнішим способом отримання високопродуктивних і екологічно пристосованих сортів для умов зони Полісся України є міжвидова гібридизація. Цим способом було створено природним шляхом високотолерантну до перезволоження і pH ґрунту популяцію горбашівської люцерни (Medicago sativa × Medicago falcata).

Екологічний напрям у рослинництві довів актуальність адаптивної селекції, яка набуває дедалі більшого значення в різних регіонах сільськогосподарського виробництва. Такий методологічний підхід сприяє створенню сортів і гібридів з високим адаптивним потенціалом, орієнтованим на конкретні екологічні чинники. Тому збереження і відтворення давніх місцевих сортів має важливе значення для кормовиробництва, оскільки вони є добрим вихідним матеріалом для селекції кормових рослин. Місцеві сорти, створені народною селекцією, поряд із природними популяціями залишаються цінним вихідним матеріалом для виведення кормових культур — конюшини, люцерни, еспарцету, тимофіївки та багатьох інших. Загалом будь-які фітопопуляції мають унікальний генофонд, який був створений у процесі філогенезу.

Поширене в сільськогосподарській літературі твердження, що люцерну можна вирощувати тільки на ґрунтах із глибоким заляганням ґрунтових вод (глибше за 2 м) потребує істотного уточнення залежно від фітобіологічних особливостей сорту. Дослідження П.В. Литвака показали, що особини популяції горбашівської люцерни успішно ростуть і плодоносять на ділянках, де рівень ґрунтової води навесні знаходиться на глибині 50 – 60 см від поверхні ґрунту. Геноми цієї популяції досить швидко й адекватно реагували на водний чинник — відбувався відповідний розподіл коренів у горизонтах ґрунту. Генофонд рослин цієї популяції формує переважно кореневу систему, де осі другого порядку майже не поступаються за могутністю головному кореню. Це підтверджує їх здатність рости на ґрунтах з високим рівнем ґрунтових вод та унікальну пристосованість і толерантність до pH ґрунту (4,8 – 5,2).

Озима пшениця. Озима пшениця має велику екологічну амплітуду. Її можна культивувати на чорноземах, темно-сірих, сірих лісових, лучних та слабкокислих дернових і дерново-підзолистих ґрунтах. Проте вона не витримує кислих ґрунтів.

Вміст білка в зерні пшениці поліської зони значно нижчий, ніж чорноземної. Це спричинено негативними властивостями дерново-підзолистих ґрунтів, насамперед їх підвищеною кислотністю. При цьому сповільнюється синтез крохмалю, підвищується вміст водо-

розчинних цукрів. Кисла реакція ґрунту призводить до збільшення вмісту в зерні небілкових форм азоту і водорозчинних фракцій білка.

Озима пшениця витримує значні коливання зволоження — від помірної посухи до затоплення за короткочасної дії цих чинників. Найліпші ж умови зволоження — в інтервалі 60 – 70 % польової вологоємності.

В орному шарі ґрунту зосереджена основна маса коренів. З нього протягом періоду вегетації пшениці поглинається 80 – 85 % елементів мінерального живлення. Понад 95 % мінеральних речовин використовується з шару ґрунту 0 – 60 см. Велике екологічне пристосування озимої пшениці спостерігається в широкому інтервалі кислотності середовища. Нейтральна і слабколужна реакції середовища сприяють підвищенню якості зерна, збільшенню його білковості.

Озиме жито порівняно з іншими зерновими культурами більш пластичне завдяки добре розвиненій кореневій системі, яка засвоює поживні речовини з важкорозчинних сполук. Воно краще витримує кислі ґрунти.

При вирощуванні в подібних умовах з озимою пшеницею жито не поступається їй за урожайністю, а в окремі роки і перевищує її. Водночас жито менш стійке, ніж пшениця, до вимокання, випрівання, посухи і вилягання, але більш морозостійке. Воно витримує зниження температури в зоні вузла кущіння до 25 – 30 °С. На відміну від озимої пшениці жито кущиться в основному восени, тому дуже важливо дотримуватись оптимальних строків посіву. Озиме жито менш вимогливе, ніж пшениця, до ґрунтових, кліматичних та інших умов життя. Воно добре пристосовується до ґрунтів різного гранулометричного складу — від піщаних до глинистих. На піщаних ґрунтах жито прибутковіше за інші злаки, тому тут йому віддають перевагу. Жито легко витримує слабкокислу реакцію ґрунтового розчину. Проте воно також сильно реагує на високий агрофон, і добрі врожаї дає на багатих, окультурених легко- і середньосуглинкових ґрунтах із реакцією ґрунтового розчину близькою до нейтральної. Його коренева система добре розвинена, глибоко проникає в ґрунт і здатна засвоювати важкорозчинні сполуки.

Ярий ячмінь. Враховуючи поширення ячменю на земній кулі, можна твердити про велике пристосування його до різних ґрунтово-кліматичних умов.

У поліській зоні України для ячменю ліпшими є суглинкові дерново-підзолисті, темно-сірі і сірі лісові ґрунти, окультурені до слабкокислої й нейтральної реакції середовища (pH 6,0 – 6,8) і збагачені органічною речовиною.

Важкі перезволожені ґрунти з поганими фізичними і гранулометричними властивостями непридатні для вирощування ячменю. Він гірше пристосований до перезволоження, ніж пшениця й овес. Має

недостатньо розвинену кореневу систему, тому вимогливий до ґрунту, чутливий до надмірної вологості.

Мінімальна температура проростання насіння 1 – 2 °С. Сходи ярого ячменю витримують приморозки –3…4 °С. У період вегетації сприятливою для росту і розвитку є температура 18 °С, тривалість вегетаційного періоду — 85 – 110 діб.

Овес — рання яра культура, насіння проростає за температури ґрунту 1 – 2 °С. Сходи витримують приморозки –3…4 °С. У період від цвітіння до наливання зерна оптимальною є температура повітря 15 – 22 °С.

Овес пристосований до широкого діапазону ґрунтів. Проте його корені проникають у ґрунт на меншу глибину, ніж корені інших зернових культур, тому він потребує доброго зволоження ґрунтів і навіть не боїться перезволоження в другий період вегетації. Овес менш чутливий до кислотності ґрунтів, ніж пшениця і ячмінь, має нижчу потребу в елементах живлення, тому цю культуру вирощують в основному на дерново-підзолистих ґрунтах. На сильнокислих ґрунтах (pH 5,0) ріст вівса пригнічується, тому їх потрібно вапнувати. Найкраще він розвивається на суглинкових і легкосуглинкових ґрунтах, віддає перевагу ґрунтам легкого гранулометричного складу. Глинисті, погано дреновані менш придатні, тому що посіви схильні до вилягання, менш стійкі до шкідників і хвороб.

Картопля. Найліпші умови для вирощування картоплі створюються в районах з помірним теплим літом і легкими за гранулометричним складом ґрунтами — дерново-підзолистими і сірими лісовими. Полісся — основна зона вирощування картоплі, оскільки ґрунти тут легкого гранулометричного складу забезпечують одну з важливих ґрунтово-екологічних вимог цієї культури, що зумовлено особливостями її кореневої системи. Корені картоплі проникають у ґрунт неглибоко і різняться активною поглинальною здатністю, але мають невелику силу подолання механічного опору ґрунту. А пухкий стан саме і характерний для легкосуглинкових і супіщаних ґрунтів. На глинистих і важкоглинистих ґрунтах ріст бульб пригнічується, вони деформуються. Оптимальна щільність ґрунту для картоплі становить 1,10 – 1,20 г/см^3. Однак легкість гранулометричного складу ґрунту не треба вважати абсолютною вимогою. Часто картоплю успішно вирощують на глинистих, але достатньо оструктурених і пухких ґрунтах. Потреба в пухких ґрунтах визначається ще однією властивістю коренів картоплі — високою їх чутливістю до нестачі кисню, яка створюється на ґрунтах з поганими фізичними властивостями.

Картопля — вологолюбна культура. Найсприятливіша вологість ґрунту — 80 % польової вологоємності. Водночас вона не витримує

надмірної вологи через високу вимогливість до вмісту кисню в ґрунтовому повітрі.

Найкращими для картоплі є слабкокислі і нейтральні ґрунти (pH 5 – 7).

За малої товщини гумусового шару з метою запобігання вивертанню на поверхню неродючого шару й відповідного погіршення фізичних і мікробіологічних властивостей ґрунту зменшують глибину оранки, а загальну глибину розпушування зберігають шляхом обладнання плугів ґрунтопоглиблювачами.

В умовах тимчасового перезволоження основний обробіток ґрунту під картоплю переносять на весну і застосовують плуги з вирізними полицями.

На ґрунтах важкого гранулометричного складу, які погано прогріваються, доцільно застосовувати гребеневу технологію вирощування картоплі.

Обов'язковість підтримання в агроекосистемах саморегулювальних функцій, використання біологічних властивостей рослин для боротьби з бур'янами і шкідниками зумовлює потребу мілкішого заробляння бульб картоплі в гребені на глибину не більш як 10 см, а також виходу на задану густоту стояння рослин. Мілке заробляння бульб дає змогу скоротити до мінімуму зрідження насаджень і тим самим посилити ґрунтозахисну здатність агрофітоценозів. Безумовно, в агроландшафтних смугах і масивах із ґрунтами легкого гранулометричного складу при пересиханні посівного шару глибину заробляння картоплі дещо збільшують. Специфічність вирощування картоплі в умовах ландшафтного землеробства, підвищені вимоги її до поживних речовин визначають і відповідну систему удобрення, що передбачає створення бездефіцитного балансу гумусу і поживних речовин, насамперед за рахунок використання в широких масштабах органічних добрив, які вносять безпосередньо під картоплю. Мінеральні добрива треба вносити в нормах, які разом з органічними забезпечують вихід на оптимальні рівні врожаїв.

Льон. Для отримання волокна і насіння вирощують льон культурний, що включає такі різновиди, як льон-довгунець та льон олійний.

Льон-довгунець — однорічна рослина помірного, теплого і вологого клімату. Він дуже вимогливий до температурного і світлового режимів, холодостійкий і тому негативно реагує на спекотну погоду. Сходи витримують приморозки до –4 °С. Вегетаційний період триває 75 діб. Самозапильний. Для рослин льону кращим є розсіяне світло, помірне освітлення. Він потребує постійно вологих ґрунтів з оптимумом 70 % польової вологоємності і водночас не витримує надмірної вологи ґрунту і високого рівня стояння підґрунтових вод. Кращими для льону-довгунця є легко- і середньосуглинкові ґрунти.

Піщані і супіщані ґрунти швидко висихають і за слабкорозвиненої кореневої системи льон страждає від нестачі вологи. Крім того, ґрунти легкого гранулометричного складу мають низький рівень потенційної родючості. Оптимальна кислотність ґрунту для вирощування льону pH 5 – 6. На кисліших ґрунтах урожайність його різко падає, а на нейтральних або сильно провапнованих отримують грубе і крихке волокно.

Льон олійний — однорічна, більш теплолюбна і менш вимоглива до вологи, ніж льон-довгунець, рослина. Вегетаційний період — до 150 діб. Вітрозапильний.

Кормові і цукрові буряки. Екологію буряків визначають холодостійкість, вологолюбність, вимогливість до режиму освітлення. За вимогливістю до ґрунтів кормові і цукрові буряки близькі до озимої пшениці, яка часто є їхнім попередником.

Кормові і цукрові буряки добре ростуть на багатих на органічну речовину суглинкових, супіщаних, чорноземних і заплавних ґрунтах з глибоким орним шаром і міцною дрібногрудочкуватою структурою. На піщаних ґрунтах високий урожай можна отримати за умов доброго вологозабезпечення і внесення високих норм органічних і мінеральних добрив. Оптимальна кислотність ґрунту коливається в межах pH 6 – 7. За pH 5,0 їх урожайність різко знижується.

Для доброго росту буряки потребують постійного зволоження на рівні 60 – 80 % польової вологоємності. Коренева система їх проникає на глибину 2,5 м й активно використовує вологу з нижніх шарів ґрунту, що забезпечує протистояння рослин тимчасовим посухам.

Перезволоження і високе стояння ґрунтових вод для буряків згубні. Якісний обробіток посівного шару ґрунту, попереднє очищення його від бур'янів залишаються найважливішою умовою. Загострена екологічна ситуація в агроландшафтах Полісся потребує докорінних змін у підході до застосування хімічних засобів захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб. Необхідність скорочення застосування пестицидів очевидна, однак вона не повинна призводити до невиправданих втрат урожаю. Основою стратегії застосування хімічних засобів захисту рослин буряків має бути не прагнення до повного знищення шкідливих об'єктів, а перехід до керування й регулювання щільності популяцій на підставі чітких агроекологічних критеріїв і регламентів.

Кукурудза. В сучасному світовому землеробстві кукурудза цілком справедливо посідає одне з чільних місць. Вона є культурою універсального використання, але найбільше значення має у вирішенні кормової проблеми. Це однодольна тепло- і світлолюбна рослина. Насіння починає проростати за температури ґрунту 8 – 10 °С. Сходи витримують приморозки до –2…3 °С. Найкраще росте і розвивається за температури 23 – 28 °С. Вегетаційний період триває 90 – 150 діб. Має потужну мичкувату багатоярусну кореневу систе-

му, основою якої є розміщені ярусами вузлові корені, що можуть проникати на глибину 2 – 4 м і в боки до 1,5 м.

Головна екологічна особливість кукурудзи — висока вимогливість до вологи ґрунту протягом періоду вегетації. Її урожайність значною мірою залежить від рівня зволоження.

Високі врожаї кукурудзи отримують на досить різнорідних за якостями ґрунтах: чорноземах вилужених, лучно-чорноземних, лучних, темно-сірих. В умовах достатнього зволоження кукурудза добре витримує підвищену щільність ґрунтів. Хоча за багатьма даними оптимальною для кукурудзи є щільність 1,1 – 1,3 г/см^3, вона непогано росте і за щільності 1,45 – 1,55 г/см^3. Вона вимоглива до наявності в ґрунті органічної речовини й елементів живлення. Перехреснозапильна.

Кукурудза різниться від інших культур широким діапазоном оптимальної реакції середовища — pH від 5,5 до 8,5.

Хоч вона і теплолюбна, її вирощують і в помірному поясі. Тут для кукурудзи більш придатні ґрунти легкого гранулометричного складу, які добре прогріваються. На ґрунтах важкого складу вона відстає в рості і дає низькі врожаї зеленої маси.

3.4. Систематика бур'янів

Екологічну характеристику основних біологічних груп бур'янів запропонували Б.М. Міркін і Ю.А. Злобін. Згідно з їх систематикою, до еколого-біологічної групи *малорічних ефемерів* належать: зірочник середній, або мокрець, тонконіг однорічний. Вони мають короткий життєвий цикл, маловимогливі до екологічних умов. Розмножуються насінням, яке проростає за температури 5 – 12 °С. Цвітуть у квітні — червні. Поширені на посівах озимих зернових культур.

Малорічні ранні бур'яни — лобода біла, гірчиця польова, гірчак березковидний, підмаренник чіпкий, редька дика, вівсюг звичайний. Закінчують цикл розвитку до середини літа. Забур'янюють посіви ранніх ярих і озимих зернових, просапні і городні культури. Стійкі до весняних приморозків. Створюють значні запаси насіння в ґрунті. Насіння дозріває одночасно з ярими зерновими культурами або дещо раніше.

Малорічні пізні (пожнивні) ярі бур'яни — мишій сизий, мишій зелений, щириця звичайна, щириця біла, куряче просо, плоскуха звичайна, амброзія полинолиста та ін. Розвиваються у другій половині літа і забур'янюють зернові, просапні та багато інших культур, бояться ранніх весняних приморозків і засух. Розмножуються насінням, яке дозріває після збирання основних ярих культур і довго зберігає схожість.

Малорічні зимуючі бур'яни — грицики звичайні, талабан польовий, волошка синя, ромашка непахуча, кукіль звичайний. Вони можуть сходити навесні і поводитись як ярі, а ті, що зійшли в другій половині літа, — як озимі. Забур'янюють переважно озимі рослини. Мають добре виражену пластичність. Розмножуються насінням.

Малорічні озимі бур'яни — костриця польова, костриця житня, метлюг звичайний. Сходять наприкінці весни чи влітку, утворюють розетку, зимують і дають насіння в наступному році. Вологолюбні. Розмножуються насінням, яке проростає за температури 5 – 10 °С. Забур'янюють озимі культури.

Дворічні бур'яни — морква дика, сокирки польові, буркун лікарський, буркун білий, буркун жовтий, будяк кучерявий. У перший рік сходять, утворюють розетку, листки, на другий рік цвітуть (з травня до осені) і плодоносять. Коренева система проникає глибоко, забур'янюють посіви озимих і кормових культур.

Малорічні стрижнекореневі бур'яни — суріпиця звичайна, кульбаба, щавель кінський. Забур'янюють більшість сільськогосподарських культур. Головний корінь проникає в ґрунт на глибину 2 – 4 м. Висота рослин — 0,5 – 1,0 м. Цвітуть упродовж усього літа.

Багаторічні мичкуватокореневі бур'яни — подорожник великий, люпин шорсткий, синяк звичайний, цикорій дикий. Коренева система поверхнева, мичкуватого типу. Вологолюбні, розмножуються насінням.

Багаторічні повзучі бур'яни — жовтець повзучий, перстач гусячий, розхідник звичайний. Маловимогливі до родючості ґрунту, забур'янюють зернові і просапні культури. Розмножуються переважно вегетативно, вологолюбні.

Багаторічні кореневищні бур'яни — пирій повзучий, хвощ польовий, свинорій пальчастий, сорго. Розмножуються вегетативно (кореневищами) і насінням. До родючості ґрунтів маловимогливі. Поширені по всій Україні.

Багаторічні коренепаросткові бур'яни — осот польовий, осот рожевий, осот жовтий, амброзія багаторічна, березка польова. Створюють нові рослини з кореневої парості, забур'янюють усі сільськогосподарські культури.

Напівпаразити — дзвінець великий. Рослини мають листки і присоски-гаусторії, якими прикріплюються до коренів польових культур і лучних трав. Від рослин-хазяїнів відбирають воду, мінеральні солі.

Паразити (рослини гетеротрофи) — повитиця польова, повитиця конюшинна, повитиця льонова, вовчок соняшниковий. Не мають листків і коренів, живуть за рахунок рослин-хазяїнів, прикріплюючись до них особливими присосками. Паразитують на зернових культурах, конюшині, рослинах льону, соняшнику тощо.

3.5. Зооценоз

Зооекологія (від грец. *zoou* — тварина, *oikoc* — житло; *logos* — наука, вчення) — це комплексна наука, яка вивчає взаємовідношення між свійськими тваринами і середовищем їх існування.

Вперше питання впливу зовнішніх умов на будову організму тварин порушив у другій половині XVIII ст. французький природознавець Ж.Л. Бюффон. Він вважав можливим «переродження» видів з одного в інший переважно під впливом зовнішніх чинників (температура, клімат, якість їжі, гніт одомашнення).

Першим автором еволюційного вчення був Ж.Б. Ламарк, який вважав, що вплив зовнішнього середовища — одна з основних передумов пристосувальних змін в організмах, еволюції рослинного і тваринного світу. Якщо на початковому етапі зооекологія була переважно наукою про адаптацію організмів, то в наш час вона перетворилась на загальнобіологічну дисципліну, завданнями якої є охорона зовнішнього природного середовища, боротьба з його забрудненням, захист тварин і людей від шкідливого впливу антропогенного чинника.

Швидке зростання чисельності населення Землі, промисловості, транспорту, енергетики, інтенсифікація сільського господарства (хімізація, меліорація та ін.) призвели у XX ст. до різкого посилення (часто негативного) впливу на природні ресурси, що порушило сформовані екосистем. У штучно створених нестійких угрупованнях зообіоценозах — щільних угрупованнях великої кількості свійських тварин на невеликій площі, що постійно залежить від діяльності людини, формуються нові взаємовідносини між культурними рослинами і тваринами, їх шкідниками і хворобами, між дикою флорою, фауною та зовнішнім середовищем.

Підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва взагалі і тваринництва зокрема (зростання надоїв молока, середньодобових приростів, захист свійських тварин від хвороб і шкідників) за мінімізованих витрат природних та людських ресурсів — основні напрями розвитку зооекології.

Розробка наукових основ еколого-гігієнічних вимог до кормів, ґрунтів, повітря, води, тваринницьких приміщень як об'єктів навколишнього середовища, місця проживання свійських тварин є важливим завданням.

Дуже актуальною проблемою сьогодення є розробка еколого-гігієнічних аспектів тимчасового зберігання, утилізації й використання відходів тваринництва (підстилковий, напіврідкий і рідкий гній, сеча, стічні води, трупи загиблих тварин).

Надзвичайно важливими проблемами, від успішного вирішення яких залежать життя і здоров'я людей, є радіоактивне забруднення

територій радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС, надходження їх в організми рослин і тварин, а через них і в організм людини, вивчення основ сільськогосподарської радіоекології та радіаційної гігієни.

Слід зауважити, що існуючі інтенсивні технології в промисловості, сільському господарстві, в тім числі й тваринництві, здійснюються без належного врахування їх впливу на довкілля. Це подекуди призвело до ігнорування законів природи, хижацького використання природних ресурсів, спричинило екологічні кризи.

3.6. Основні групи та видовий склад тваринних організмів

Всебічним дослідженням тваринних організмів, їх різноманітності, взаємовідношень між ними, а також спорідненних філогенетичних зв'язків, що склалися історично, займається *систематика тварин*. Її завдання — встановити природну систему тваринного світу. Тільки узагальнені дані допоможуть створити систему, яка б відбивала історичний (філогенетичний) розвиток усього тваринного світу від найпростіших до ссавців. Систематика розробляє класифікацію тварин, поділ їх на окремі систематичні категорії, типи, класи, ряди, родини, роди, види. Першу наукову систему тваринного світу розробив Аристотель. У трактаті «Історія тварин» він поділив їх на дві великі групи: тварини з кров'ю і без крові. Перша група відповідає сучасним хребетним, друга — безхребетним. Аристотель використовував також такі поняття, як вид і рід. Велика заслуга в розвитку систематики тварин шведського вченого К. Ліннея. У своїй відомій праці «Система природи» він усіх тварин поділив на шість класів. У десятому випуску її К. Лінней (1758) розвинув учення про вид, запровадив бінарну номенклатуру (подвійну назву), де першим словом позначав назву роду, другим — виду. У системі Ліннея виділено чотири взаємнопідпорядковані системні категорії — таксони: вид, рід, ряд, клас. Він установив понад 300 родів тварин, які за ознаками подібності згрупував у ряди, а подібні ряди об'єднав у класи: ссавці, птахи, плазуни, риби, комахи і черви.

Наступний етап розвитку систематики тварин пов'язаний з ім'ям французького вченого Ж.Б. Ламарка, який розробив систему безхребетних тварин. Йому належить термін «безхребетні», серед яких він виділив 10 класів, що в основному відповідають сучасним типам.

Теоретичною основою зоології XX ст. є принципи, розроблені Ч. Дарвіном і наведені у праці «Походження видів» (1859).

Всебічним вивченням тварин доведено, що царство тварин складається з надзвичайно великої кількості груп, які різняться особли-

востями своєї організації. При встановленні цих груп застосовують систему підпорядкованих системних категорій, основною з яких є вид (наприклад, кабан дикий, бджола медоносна). Організми, які належать до одного виду, легко схрещуються один з одним і дають плодюче потомство. Особини одного виду обмінюються між собою генами і тому є дуже схожими один на одного. Кожен вид поширюється на певній території (водній або наземній), яку називають *ареалом даного виду*. Розселення особин даного виду по його ареалу нерівномірне. В одних місцях їх багато, в інших — трапляються рідко або зовсім відсутні. Сукупність особин одного виду, що живуть в якій-небудь частині ареалу, називають *популяцією*.

Свійські тварини, як і всі інші, супідпорядковуються закономірним географічним змінам, і кожна порода складається з різних популяцій за продуктивністю, відношенням до різних чинників навколишнього середовища (температури, вологості та ін.), ступенем стійкості до різних захворювань. Вивчення популяцій тварин має велике практичне значення.

Близькі види об'єднуються в один рід. Наприклад, вовк і шакал належать до роду собак, а лисиця звичайна і лисиця корсак — до роду лисиць. Близькі роди об'єднуються в родини, родини — в ряди, ряди — в класи, класи — в типи. Часто встановлюють проміжні категорії: підрід (між родом і видом), підродина (між родиною і родом), підряд (між рядом і родиною), підклас (між класом і рядом), підтип (між типом і класом). Крім того, розрізняють: надклас (між підтипом і класом), надряд (між підкласом і рядом), надродина (між підрядом і родиною).

Отже, в системі тваринного світу супідпорядковані такі категорії: вид — підрід — рід — підродина — родина — надродина — підряд — ряд — надряд — підклас — клас — надклас — підтип — тип.

Найвищою системною категорією є тип. Кожен тип характеризується певним планом будови організму, спільної для всіх груп (підтипів, класів тощо). Тварин прийнято поділяти на найпростіших, або одноклітинних, які мають п'ять типів, і багатоклітинних, до яких належить решта типів тварин.

Одноклітинні організми

За сучасною систематикою виділено п'ять самостійних типів найпростіших: Саркоджгутикові, Споровики, Кнідоспоридії, Мікроспоридії, Інфузорії.

Найпростіші інтенсивно живляться і посилено розмножуються, тому їх вплив на колообіг речовин у природі дуже великий. Вони поглинають з води речовини, які там містяться в невеликій кількості, і концентрують їх у своїх тілах. Після загибелі найпростіших ці

речовини накопичуються на дні водойм. Так утворилися різні геологічні відклади багатьох кристалічних сполук і елементів. Загальновідомо, що крейдові відклади утворилися з незліченної кількості черепашок кореневіжкових найпростіших. У водоймах в результаті спуску стічних вод, багатих на органічну речовину, розмножуються бактерії та інші мікроорганізми, які живляться нею. За бактеріями з'являються різні інфузорії, які поїдають перших, чим сприяють природному очищенню водойм. Найпростіші є кормом для безхребетних, а останні — для риб. Особливо варто підкреслити, що в різних класах найпростіших є паразити свійських тварин і людини, які можуть завдавати своїм хазяїнам великої шкоди або спричинювати їх загибель (трихомонади, трипаносоми, лейшманії, кров'яні і м'ясні споровики).

Багатоклітинні організми

Тип Губок. У сучасній фауні налічується близько 5000 видів губок. Це найпримітивніше збудовані багатоклітинні організми, в яких ще відсутні справжні органи й нервова система, тканини недиференційовані. Губки поодинокі або колоніальні, здебільшого — морські, рідше — прісноводні, ведуть прикріплений спосіб життя. Їх використовують в медицині, зоотехнії, технічних цілях, індивідуальному туалеті (туалетна губка). В природі вони виконують функцію фільтрів.

Тип Кишковопорожнинних налічує близько 9000 видів. Живуть вони переважно в морях, рідше — у прісних водоймах. За розмірами бувають від 1 мм до 2 м. Кишковопорожнинні — радіальносиметричні тварини, для більшості яких характерні дві життєві форми: поліп і медуза. Поліпи нерухомі або малорухомі, ведуть прикріплений спосіб життя, медузи — вільноплаваючі форми. Розмножуються кишковопорожнинні нестатевим (брунькування) і статевим способом.

З мадрепарових коралів можна отримувати вапно і будівельні матеріали, зі скелетів червоного і чорного коралів виготовляють прикраси, деякі види медуз у Китаї та Японії використовують у їжу. Негативна роль медуз — у знищенні риб (особливо мальків).

Тип Плоскі черви — досить різноманітна група тварин розміром від кількох часток міліметра до 15 – 20 м. Тіло сплюснуте в спино-черевному напрямку, овальної, листко- або стрічкоподібної форми. Налічується близько 12 тис. видів, більшість з яких веде паразитичний спосіб життя і лише представники одного класу — вій-часті черви — вільноіснуючі. Печінковий присисань, або фасціола, з класу присисних спричинює захворювання тварин і людини на фасціольоз, шистосоми, або кров'яні присисні, паразитують у крово-

носних судинах людини, представники ехіностоматид — у кишках свійської птиці, моногенетичні присисні нерідко є причиною загибелі риб, особливо в умовах ставкового господарства. Найнебезпечнішими є доктилогіруси, які паразитують на шкірі і зябрах прісноводної риби, що може спричинити її загибель. У кишках людини і рибоїдних тварин паразитує стьожак широкий. У кишки людини може потрапити солітер свинячий, що надзвичайно небезпечно для її здоров'я.

Тип Круглі черви — велика й поширена група тварин чисельністю від 500 тис. до 1 млн видів. Поширені круглі черви в різних біотипах. Вони населяють дно морів і океанів від Північного до Південного полюсів, прісні водойми, ґрунт, велика група їх веде паразитичний спосіб життя. Паразитують вони у різних органах тварин, рослин і людини, завдають великої шкоди сільському господарству (нематоди, гострики, волосоголовці, трихінела (спричинює смертельно небезпечну для людини хворобу — трихінельоз).

Тип Скреблянки, або Колючоголові — виключно паразитичні черви, живуть у кишках водяних і наземних хребетних тварин.

Тип Кільчасті черви (аneліди) налічує близько 9 тис. видів. Кільчасті черви населяють морські та прісноводні басейни, живуть переважно на дні, велика кількість оселяється в ґрунті, ведуть риючий спосіб життя. Зрідка серед них трапляються паразити (деякі п'явки). Типовим представником круглих червів класу малощетинкових є дощовий черв'як, який відіграє велику роль у ґрунтоутворенні. Дощові черв'яки становлять від 50 до 96 % усієї біомаси ґрунтових тварин.

Тип Членистоногі — найбільший за видовим складом і налічує близько 3 млн видів. Це в кілька разів перевищує кількість усіх решти груп тваринного світу разом узятих, включаючи мікроорганізми. Серед них є різні за розміром тварини — від кількох міліметрів до 3 м і більше. Членистоногі населяють водне середовище, суходіл і повітряний простір. Трапляються у різноманітних біоценозах: у гарячих і дуже солоних водоймах, підземних водах, вічній мерзлоті. Багато з них веде паразитичний спосіб життя. Членистоногих поділяють на три підтипи: зябродихаючі, хеміцероносні, трахейнодихаючі.

До підтипу зябродихаючих належать клас Ракоподібні, підклас Зяброногі раки, до підтипу хеміцероносних — клас Павукоподібних (ряди — Павуки, Кліщі, Скорпіони), до підтипу трахейнодихаючих — наземні членистоногі, які дихають трахеями. Підтип трахейнодихаючих об'єднує два класи: багатоніжки та комахи. До класу Комах належить підклас Відкритощелепних (ряд — таргани); Прямокрилі (перелітна сарана та інші дуже небезпечні шкідники сільського господарства), ряди Воші; Рівнокрилі, Напівтвердокрилі, або

Клопи; Твердокрилі, або Жуки; Лускокрилі або Метелики, Перетинчастокрилі (бджоли, мурашки, пильщики тощо), Двокрилі (овід кінський, овід овечий, малярійні комарі, мухи хатні та ін.), Блохи (людська блоха, собача блоха, гессенська муха тощо).

Тип Молюски об'єднує близько 130 тис. видів. Поширені по всій земній кулі і населяють прісні водойми, моря, океани до глибини 10 000 м. Деякі види освоїли суходіл, близько 100 видів ведуть паразитичний спосіб життя. Розміри тіла представників різних класів молюсків коливаються від неповного міліметра до 18 м (восьминіг).

До типу Молюски належать три класи: Двостулкові (перли), Черевоногі (виноградний слимак, рапана-хижак, що населяє Чорне море), Головоногі (восьминоги, кальмари, каракатиці та ін.).

Тип Голкошкірі — поверхня шкіри цих організмів вкрита більшими чи меншими голками (звідки й назва). Поширені в солоних морях і океанах (із вмістом у воді не менш як 3 % солі). До типу Голкошкірих входить 5 класів: морські зірки, офіури, або змієхвостики, морські їжаки, голотурії, морські лілії. Російський учений І.І. Мечников вважав, що предки голкошкірих споріднені з кишковопорожнинними, хордовими і напівхордовими тваринами.

Тип Хордові об'єднує близько 45 тис. видів тварин, які значно різняться між собою за зовнішнім виглядом, внутрішньою будовою, способом життя. Так, серед хордових є види, розміри яких не перевищують 1 см (апендикулярії), і такі, що досягають довжини 33 м, маси — до 150 т (синій кит). Поширені хордові по всій земній кулі. Живуть у прісних і солоних водах, на суходолі, в ґрунті, повітрі. Хордові тварини мають спільні ознаки:

- наявність осьового скелета у вигляді хорди або спинної струни;
- над хордою пролягає нервова трубка центральної нервової системи;
- передня кишка (глотка) пронизана зябровими щілинами, які упродовж усього життя функціонують у водяних тварин; у наземних тварин вони закладаються в ембріонів і мають вигляд глоткових кишень, згодом передня зяброва щілина перетворюється на євстахієву трубу; легені дорослих хордових у вигляді випинань розвиваються на черевному боці задньої частини глотки, травна система розміщена під глоткою.

Тип Хордові об'єднує три підтипи: Личинохордові, або Покривники, Безчерепні, Черепні, або Хребетні.

До типу Хордових деякі вчені відносять ще один підтип — Напівхордові (баланоглос), інші вважають його окремим типом.

Напівхордові — це морські тварини, що входять до складу бентосу і ведуть риючий спосіб життя.

Підтип Личинохордові налічує близько 1500 видів асцидій, сальп і апендикулярій виключно морських тварин. У крові асцидій вияв-

лено клітини ванадоцити, які містять ванадій і вільну сірчану кислоту, концентрація якої досягає 9 %. Трапляються клітини із зеленими тільцями, що складаються із заліза, сполученого з білком. В Японії за штучного вирощування асцидій з туніки цих тварин отримують до 30 кг ванадію і 300 кг клітковини з 1 га.

Підтип Безчеревних (клас Головохордові) налічує близько 29 видів. Це невеликі (до 10 см) тварини, що населяють переважно піщані мілководні ділянки теплих і помірних морів. У Чорному морі трапляються ланцетники європейські, в Японському — ланцетники азійські. До складу тіла ланцетника азійського входить 70 % білка і 2 % жиру, тому його споживають у смаженому вигляді або готують із нього варені страви.

До підтипу Хребетних, або Черевних, належить більшість хордових тварин — близько 40 тис. видів. Вони поширені в усіх географічних зонах земної кулі і пристосовані до різноманітних умов існування.

Спільними ознаками для всіх хребетних є такі:

- наявність кісткового або хрящового скелета, осьовою частиною якого є хребет, що захищає спинний мозок;
- розвинений череп — передній відділ скелета, який захищає головний мозок;
- ускладнена центральна нервова система, що характеризується появою головного і спинного мозку в результаті диференціації нервової трубки;
- поділ головного мозку на відділи з різними функціями.

З розвитком головного мозку ускладнюються органи чуття, вдосконалюється поведінка тварин. Сучасних хребетних тварин поділяють на дві нерівноцінні за розміром групи — безщелепних і щелепноротих.

Група безщелепних — найпримітивніші серед хребетних тварин, у них відсутні щелепи. В давнину вони становили численну групу тварин (палеозойська ера) у силурійських морях. Вимерлі силурійські безщелепні тварини вкриті зовнішнім кістковим панцирем, тому належать до класу щиткових. Однією з очевидних причин їх вимирання була поява перших щелепноротих тварин — риб.

Сучасні безщелепні тварини — це нечисленна група, представники якої ведуть паразитичний і напівпаразитичний спосіб життя, що сприяє їх виживанню в боротьбі за існування з більш організованими конкурентами — рибами. В сучасній фауні безщелепні тварини представлені одним класом — круглоротими, представниками яких є міноги, міксини, які паразитують на рибах. Деякі види річкових міног використовують як їжу. На зміну безщелепним тваринам прийшли щелепнороті, пізніше в процесі еволюції розвинулись вищі класи хребетних тварин — хрящові риби, кісткові риби, земноводні, плазуни, птахи, ссавці.

У боротьбі за життя завдяки розвитку головного мозку і теплокровності найстійкішими виявилися птахи та ссавці, що замінили плазунів і започаткували новий період органічного життя на Землі — вік птахів і ссавців.

Клас Птахів налічує на земній кулі близько 8600 видів, з них в Україні — 360. Маса птахів коливається від 2 г (колібрі) до 100 кг (африканський страус). Це надзвичайно поширений клас хребетних тварин — від Північного полюса до Антарктиди. Живуть птахи в різноманітних екологічних умовах: пустелях, степах, лісах, морях і океанах. У міру пристосування їх до життя в тих чи інших умовах сформувалися різні екологічні групи птахів:

- водоплавні (пінгвіни, гагари, баклани, пелікани, гуси, лебеді, різні види качиних);
- водноболотні (лелеки, чаплі, кулики);
- повітряно-водяні (чайки, буревісники, крячки);
- повітряно-наземні (ластівки, стрижі, горобці);
- деревні, кущово-лісові (дятли, зозулі, шпаки, дрозди, глухарі, рябчики тощо);
- наземні або степово-пустельні (страуси, дрохви, рябки та ін.).

Величезна кількість птахів корисна для людини, знищує безліч шкідливих комах і гризунів. Комах поїдають шпаки, граки, одуди, дрозди, зяблики, вівсянки, малинівки, синиці, іволги, дятли, ластівки, стрижі та багато інших. Серед активних винищувачів мишоподібних гризунів провідна роль належить совам, сичам, а також соколам. Проте птахи можуть завдавати і шкоди, зокрема полям. Вони є хазяїнами багатьох паразитів, здатних спричинити інфекційні захворювання.

Свійські птахи. Значення їх для людини надзвичайно велике. Вони дають м'ясо, яйця, пух, пір'я тощо. Людина шляхом добору і схрещування вивела багато нових і цінних порід курей, качок, гусей, індиків. Предком свійських курей була дика банківська, або кундова, курка. Свійські індики походять від дикого індійського предка, качки — від диких видів крижня. Більшість порід свійських гусей походить від дикої сірої гуски. Як свійських птахів часто утримують численні породи голубів.

Клас Ссавців, або Звірів. До цього класу належить близько 4000 видів тварин, у межах України трапляється близько 108 видів.

Ссавців вдвічі менше, ніж птахів і в чотири рази — ніж риб. Проте за зовнішнім виглядом і різноманітністю з ними не може порівнятися жодна група тварин. Серед них наземні види, які бігають на чотирьох ногах і скачуть на двох, звірі, які живуть у норах, на деревах, ведуть земноводний спосіб життя, справжні водяні тварини та види, що літають. Різняться вони за розмірами і масою тіла. Найменший ссавець багатозуб карликовий важить тільки 2 г, а найбільший — синій кит — до 150 т.

До класу ссавців належить і людина з її високими інтелектуальними можливостями. Представники цього класу поширені на всій земній кулі, живуть у різноманітних екологічних умовах, що зумовлено загальною гнучкістю їх організації та особливостями будови.

Основні ознаки ссавців:

- виношування малят в організмі матері, народження їх живими і вигодовування новонароджених своїм молоком (від чого і походить назва класу ссавців);
- тіло ссавців вкрите волоссям чи хутром, яке зберігає тепло; волосся, роги, а також різні залози утворені з епідермісу.

Усіх ссавців поділяють на три основні підкласи, які різняться між собою морфологічними особливостями і поширенням: першозвірі, або яйцекладні, нижчі звірі, або сумчасті, вищі звірі, або плацентарні.

У тварин підкласу першозвірів поєднані ознаки плазунів і птахів. Розмножуються відкладанням порівняно великих яєць, багатих на жовток (качконіс, єхидна, проехидна).

Підклас нижчих звірів, або сумчастих, об'єднує близько 250 видів (9 родин). Серед них є хижаки, рослиноїдні і комахоїдні форми. Найвідоміші із сумчастих — кенгуру, сумчасті вовки, коти, миші, щури тощо.

Підклас вищих звірів, або плацентарних, отримав свою назву від спеціального органа цих тварин — плаценти, в якій розвиваються сформовані зародки і після народження малята можуть самостійно ссати молоко матері.

Підклас плацентарних ссавців за характером пристосувань до життєвих умов та генетичним спорідненням поділений на 13 рядів, деякі з яких схарактеризовано нижче.

Ряд комахоїдних — родини їжаків, кротів, землерийок та хохулей. Їжаки і землерийки знищують шкідливих комах.

Ряд рукокрилих, або кажанів. Це найбільший після гризунів ряд, до якого належить близько 17 родин і 900 видів. Представниками цього ряду є кажани, великий і малий підковоноси, нічниці тощо. Кажани — корисні тварини, які знищують велику кількість нічних комах.

Ряд гризунів охоплює близько 3000 видів. Тварини цього ряду пристосувались до найрізноманітніших біотопів (тундра, ліси, степи, луки, пустелі) і поширились по всій земній кулі. Гризуни мають велике господарське значення, серед них є цінні хутрові звірі, такі як білки, бобри, нутрії, ондатри. Багато гризунів є шкідниками сільськогосподарських культур (ховрахи, польові миші, щури та ін.).

Ряд зайцеподібних включає зайців, кролів, пищух. Це дуже поширені тварини. Одомашнених кролів розводять заради м'яса, шкурки та пуху. Зайці є об'єктом полювання.

Ряд хижаків включає родини: вовчі, або собачі (собаки, вовки, шакали, лисиці та ін.); ведмежі (бурий, білий, очковий та інші ведмеді); куницеві (соболі, норка, куниці, горностаї, ласки, тхори, видри, борсуки, росомахи); котячі (леопард, сніговий барс); китоподібні (зубаті й беззубі — вусаті кити), до зубатих китів належать великі кашалоти, білухи, косатки, дельфіни, до вусатих — гренландський кит, синій кит, кити-смугастики; донани або жируни — невеликі (завдовжки до 60 см, масою 1,5 – 4,5 кг). Тварини, які лазять по скелях і деревах; сирени — виключно морські або прісноводні тварини, вкриті волоссям (ламантини, дюгоні); хоботні (представлені двома видами слонів — великовухим африканським та індійським з невеликими вухами); трубкозубі — схожі на предків копитних (єдиний представник ряду — трубкозуб африканський).

Ряд парнокопитних налічує 3 родини: тапіри, носороги, коні. Його поділяють на два підряди — нежуйних і жуйних. До нежуйних тварин належать звичайний і карликовий бегемоти, до жуйних — зубри, бізони, буйволи, яки, гірські барани і козли, антилопи, олені, жирафи, свійська велика рогата худоба. До мозоленогих належать верблюди і лами.

Рід приматів, або *мавп*, об'єднує найбільш високоорганізованих ссавців.

3.7. Стадо сільськогосподарських тварин і його вплив на пасовищний фітоценоз

Під *стадом* розуміють групу свійських тварин зазвичай одного виду, породи, статі, близького віку, підібраних для окремого утримання, відгодівлі, нагулу і т.д. Синонімами терміна «стадо» у вівчарстві є «отара», в молочному і м'ясному скотарстві — «череда».

Стадо сільськогосподарських тварин — компонент пасовищного біогеоценозу (екосистеми). Воно займає певну екологічну нішу. Важливою біогеоценологічною функцією тварин, які пасуться, є споживання ними фітомаси і переведення її в органічні речовини своїх тіл, в молоко, екскременти, прості неорганічні сполуки (вуглекислий газ, воду і мінеральні солі). Стадо — комплексний екологічний чинник, тому його вплив на пасовищі виявляється в багатьох напрямах. Головні з них — спасування пасовищної рослинності, витоптування пасовища, вплив на середовище екскрементів тварин.

Різні види тварин (диких і свійських) по-різному впливають на пасовищний травостій, оскільки кожному виду тварин властиві свої особливості поїдання рослинності.

Так, велика рогата худоба краще спасує травостій заввишки 10 – 12 см. Свині скушують траву зубами на нижчому рівні, ніж її обри-

ває велика рогата худоба. Вівці спасують рослини, що добре поїдаються, майже біля самої поверхні ґрунту. Рослини, підгризені біля кореневої системи, пригнічуються і навіть випадають із травостою. Кози не тільки «вистригають» траву до самого коріння, а й нерідко виривають її з ґрунту. Через сильне пошкодження рослинності пасовище може втратити властивість до самовідновлення. В багатьох країнах світу тваринники, які спочатку займалися вирощуванням великої рогатої худоби, в міру погіршення угідь переходили до вівчарства, а потім — до розведення кіз. Під впливом тривалого випасання тварин одного виду відбуваються негативні зміни видового складу пасовищної рослинності. Проте випасання стад тварин впливає на пасовищний травостій не тільки негативно. За економічно обґрунтованого випасання (загінного з урахуванням розміру стада, висоти травостою, віку трави, підживлення, підсіву, вологості ґрунту тощо) біологічна продуктивність пасовища не тільки не знижується, а й може підвищуватися. З'являється більше цінних кормових рослин, таких як грястиця збірна, вівсяниця лучна, лисохвіст лучний, кострець безостий, і водночас багато видів різнотрав'я з травостою випадає.

Поліпшення кормових якостей травостою сприятливо впливає на життєдіяльність тварин, збільшення їх продуктивності, відтворювальну здатність. На травостій і ґрунт пасовищних екосистем чинить тиск кожна тварина, що випасається. Ця дія може бути прямою й опосередкованою. Пряма дія, коли під механічним впливом на надземні органи рослин вони пошкоджуються або повністю руйнуються. У пошкоджених листках порушується фотосинтез, гальмується ріст і розвиток рослин, вони можуть випадати із фітоценозу. Опосередкована дія, коли під тиском копит змінюються фізичні властивості ґрунту, що негативно впливає на ріст і розвиток рослин. Найсильнішу, інколи руйнівну дію чинять копита великої рогатої худоби і коней (особливо підкованих).

На стан пасовищної рослинності впливають екскременти тварин, яких випасають. Вони контактують із поверхнею ґрунту, впливають на ріст і розвиток рослин, стан ґрунту, геохімічну ситуацію в біогеоценозі. Тварини різних видів протягом доби виділяють неоднакову кількість фекалій і сечі різних фізико-хімічних властивостей, консистенції. В коней, овець, свиней, кіз фекалійні маси сформовані так, що вони завжди позитивно впливають на стан травостою та пасовища. У великої рогатої худоби фекалії рідкої консистенції, неоформлені. На поверхні пасовища вони створюють «коржі» діаметром 20 – 30 см, під якими рослини відмирають через нестачу повітря, а по їх краях ріст і розвиток рослин прискорюється. За загального випасання тварин обов'язковими заходами поверхневого поліпшення пасовищ мають бути розрівнювання фекалій великої рогатої худоби і підкошування нестравленої трави.

Сільськогосподарські тварини, які випасаються на пасовищі, впливають не тільки на фітоценоз, а й на зооценоз пасовищної екосистеми. Випасання стад сприяє перетворенню видового складу рослин, змінам фітоклімату, фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтів. Умови зооценозу змінюються. Безпосередній вплив сільськогосподарських тварин на зооценоз полягає в поїданні ними разом із травою представників мікро- і мезофауни, що може бути не тільки випадковим, а й навмисним (наприклад, свині на пасовищі поїдають дощових черв'яків та інших ґрунтових тварин).

3.8. Вплив тваринництва на навколишнє середовище

Основними галузями сільськогосподарського виробництва є рослинництво і тваринництво, які тісно пов'язані між собою і не можуть існувати одне без одного. Виробництво тваринницької продукції ґрунтується на трансформуванні рослинного білка, вуглеводів, жирів і продукції тваринного походження. Однак тільки частина рослинного білка та інших органічних і мінеральних речовин, спожитих тваринами з кормом, перетравлюється і використовується для приросту маси тіла, продукування молока, м'яса тощо. Інша частина корму виділяється з організму тварин у вигляді неперетравленого рослинного білка та інших продуктів трансформування корму.

Сільськогосподарські тварини, особливо велика рогата худоба та свині, споживають багато рослинних кормів, які піддаються складним біохімічним перетворенням в організмі жуйних тварин та хімічним реакціям після виділення екскрементів, а потім в період зберігання й утилізації останніх. При цьому утворюються хімічні сполуки, які виділяються в навколишнє середовище і поширюються в ньому. З фекаліями і сечею тварин виділяються аміни, сірководень, метан. Ці сполуки мають стійкий неприємний запах, який може істотно ослабити вжиттям певних гігієнічних і санітарних заходів (своєчасне видалення рідких і твердих екскрементів, провітрювання приміщень, їх санація, деяке обмеження вмісту азоту в кормах, заміна рослинного білка на синтетичний тощо).

Тваринництво є джерелом забруднення не тільки повітря, а й поверхневих і ґрунтових вод. Найнебезпечнішими джерелами забруднення ґрунтових вод є гноєсховища, особливо відкриті бурти гною, розміщенні неподалік водойм, малих річок, струмків. Гноївка, що витікає з гнойового наземного штабеля, стікає по поверхні ґрунту, проникає вглиб. Внаслідок цього у ґрунтові води потрапляють

переважно нітрати і в меншій кількості — аміак та органічні речовини. Джерелом забруднення довкілля є також стічні води з території тваринницьких ферм, вигульних майданчиків для тварин тощо. Екскременти тварин мінералізуються у поверхневому шарі ґрунту. Вивільнені компоненти гною, не поглинені рослинами (аміак, нітрати), можуть звітрюватися в повітря або вимиватися у ґрунтові води.

Для утримання сільськогосподарських тварин велике значення мають кліматичні чинники (температура, вологість, опади, вітер, атмосферний тиск, сонячна радіація).

За географічними широтами, від яких залежать ці чинники, на земній кулі виділяють чотири пояси клімату.

1. *Жаркий*, або *тропічний,* — починається від екватора і доходить до 30° північної і південної широт. Середня ізотерма близько 20 °С.

2. *Помірний* — у кожній півкулі включає місцевість з липневою ізотермою 20 – 10 °С.

3. *Холодний* — у Північній і Південній півкулях включає місцевість із липневою ізотермою 10 – 0 °С.

4. *Пояс вічного холоду* — поблизу полюсів: у Північній півкулі вище 85° північної широти, у Південній — нижче 65° південної широти. Середня ізотерма липня нижча від 0 °С.

Ізотерми — лінії, що з'єднують на географічній карті місцевості з однаковими температурами повітря, води або ґрунту.

Крім основних кліматичних поясів виділяють перехідні — субтропічний, теплий, прохолодний, суворий, а також різновиди клімату — морський, континентальний, лісовий, гірський та ін.

Більшість населення земної кулі живе у зоні помірного клімату. У зв'язку з інтенсивним розвитком промисловості, транспорту, сільського господарства і пов'язаної з цим великої кількості викидів в атмосферу пилу і вуглекислого газу середньорічна температура на земній кулі може різко підвищитись. Тому реальною є небезпека танення льодовиків і полярного снігу, що загрожує затопленням цілих континентів. Питання зміни клімату в сучасних умовах дуже важливе для життя людей і тварин на Землі. Слід підкреслити, що тварини почуваються найкомфортніше, коли подразники не перевищують порогових значень, до яких вони адаптувалися упродовж життя. Лише за таких умов можна добитися максимальної продуктивності тварин за збереження їх здоров'я. Якщо подразники занадто сильні і не відповідають фізіологічному статусу організму, порушують його гомеостаз, то це призводить до додаткового навантаження на функціональні системи, погіршення стану здоров'я і зменшення продуктивності тварин.

3.9. Фермський біогеоценоз (екосистема)

Під терміном «фермський біогеоценоз», або фермська екосистема, розуміють природно-технічну систему, що складається з сільськогосподарських (свійських) тварин і екотопу середовища їх проживання в формі скотного двору (скотарні), тваринницької ферми або промислового комплексу. Способи утримання тварин розвивались і вдосконалювались по шляху збільшення масштабів виробництва продукції тваринництва (молока, м'яса, вовни, яєць тощо).

Сільськогосподарські тварини, яких утримують у приміщеннях, «зафіксовані» на своїх місцях проживання, не можуть вільно переміщуватися з одного біогеоценозу в інший. Режим їх поведінки і спосіб життя визначає людина (прив'язі, стійла, клітки тощо). Мала рухливість негативно відбивається на життєдіяльності тварин. У них знижується тонус організму, порушується діяльність органів і систем, уражуються кістки, суглоби, сухожилля кінцівок. Однак за стійлового утримання тварини захищені від несприятливих погодно-кліматичних умов (снігу, холоду, сильних вітрів, дощів, спекотного сонця), від хижаків (вовків) тощо.

Скотарні, тваринницькі ферми і комплекси належать до фермських біогеоценозів, оскільки в них відсутні екологічні групі організмів, які створюють органічну речовину (продуценти).

У тваринницьких приміщеннях дуже мало редуцентів — організмів, які розкладають органічну речовину рослинного і тваринного походження. Через відсутність продуцентів (в основному рослин, які споживають вуглекислий газ із повітря, що видихається) і недостатню кількість редуцентів (грибів і мікроорганізмів, здатних мінералізувати екскременти) в тваринницьких приміщеннях дуже швидко можуть змінюватись умови проживання тварин внаслідок забруднення середовища фекаліями і сечею, продуктами їх розкладання.

Домінантами-едифікаторами фермських біогеоценозів є свійські сільськогосподарські тварини. Роль неживих компонентів виконують штучно створені людиною різні пристрої: підлоги, стелі, стіни тваринницьких приміщень, кормороздавачі й автонапувалки, штучні джерела світла.

Для будівництва тваринницьких приміщень використовують дерево, цеглу, цемент, залізобетон та інші матеріали, часто неіндиферентні для тварин. Маючи тільки власні фізичні і хімічні властивості, вони прямо чи побічно впливають на тварин, їх життєдіяльність, продуктивність і відтворювальну здатність, стійкість чи, навпаки, сприйнятливість до хвороб.

Вважають, що з усіх конструкційних елементів тваринницького приміщення найбільше значення має підлога, яка впливає на кінцівки тварин, що стоять, легкість очищення від гною тощо. На стан

тварин, їх продуктивність, стійкість до хвороб, відтворювальну здатність впливають також стеля, стіни та інші конструкційні елементи фермських біогеоценозів. Стіни, стеля і дах призначенні для утеплення приміщень, підтримання в них належних температурного режиму і вологості. Життєдіяльність і продуктивність тварин значною мірою залежить від мікроклімату в тваринницьких приміщеннях (вологість повітря, освітлення, температура, загазованість тощо), багато параметрів яких змінено (слабке освітлення, підвищена вологість, виділення в середовище продуктів метаболізму тварин). Корова масою 600 кг, що дає 30 кг молока, виділяє за добу 4860 л CO_2 і 10 – 15 кг водяної пари.

Технології утримання різних видів тварин пов'язані з використанням спеціальних машин, механізмів, електродвигунів (апаратів), робота яких супроводжується виробничими шумами. Шум — це подразник, який може негативно впливати на організм тварини (підвищення температури, зміна фізико-хімічних властивостей, зниження продуктивності, збільшення витрат кормів на одиницю отриманої продукції). На великих тваринницьких комплексах формуються сильні електромагнітні поля, здатні викликати мутагенні ефекти і негативно впливати на потомство.

3.10. Адаптивні реакції тваринних організмів

Під адаптивними реакціями тварин розуміють пристосування окремих організмів і видів, їх будови і функцій до умов зовнішнього (абіотичного і біотичного) середовища, а також до сумісного існування в екосистемах певного типу. Отже, адаптивні реакції забезпечують пристосування до різних екологічних умов протягом онтогенезу, можливість існування окремих індивідів і збереження виду.

Тиск на організм з боку подразника призводить до істотних змін його стану, перебігу в ньому специфічних та неспецифічних біологічних реакцій. Такий стан організму Ганс Сельє (1936) назвав стресовим або дистресовим.

За стресу в організмі відбуваються зміни, які мобілізують захисні сили, спрямовані на нейтралізацію несприятливої дії (адаптацію) і збереження життя.

Стрес-фактори за природою, з урахуванням діяльності людини, Д.А. Устінов поділив на такі групи:

1) фізичні (температура, вологість, сонячна й іонізаційна радіація, шум, рух повітря);

2) хімічні (підвищення концентрації в повітрі аміаку, сірководню, вуглекислого та інших газів, хімічних сполук, які застосовують у тваринництві і рослинництві);

3) кормові (недостатня, надмірна чи неповноцінна годівля тварин, різкі зміни характеру годівлі тварин, використання недоброякісних кормів, води тощо);

4) транспортні (навантаження і розвантаження, перевезення тварин різними видами транспорту);

5) технологічні (зважування, відлучення молодняку від матері, скупчене утримання, малий фронт годівлі і напування, грубе поводження з тваринами, підвищений рівень шуму від працюючих механізмів, тривалі перегони, різкі зміни режимів утримання та ін.);

6) біологічні (інфекційні та інвазійні захворювання, щеплення тварин);

7) експериментальні (фіксація тварин, подразнення електрострумом, введення різних препаратів тощо);

8) психічні (рангові стреси внаслідок боротьби за лідерство у групі тварин за безприв'язного утримання та ін.).

Отже, стрес-реакції можуть спричинити різні подразники, в тім числі і кліматичні, якщо їх дія перевищує порогові значення, вони впливають тривалий час і є неадекватними організму. Ступінь вираження стрес-реакцій у тварин залежить від багатьох чинників: віку, типу діяльності нервової системи, сили і тривалості стрес-фактора, породи тварин та ін. Відомо, що новонароджені і старі тварини слабкіше реагують на стрес-фактори, тварини із сильним урівноваженим типом нервової системи швидше і легше адаптуються до несприятливих умов, ніж тварини слабкого неврівноваженого типу, неоднаково реагують на стрес-фактори тварини різних порід. Під дією різних за походженням стрес-факторів в організмі тварин відбуваються однотипні реакції, які Г. Селье об'єднав у поняття «загальний адаптаційний синдром».

Розрізняють три фази його перебігу.

Реакція тривоги — виникає при короткочасній дії стрес-фактора і характеризується зниженням м'язового тонусу, температури тіла і тиску крові, зменшенням у ній кількості лімфоцитів, еозинофілів та іншими короткочасними змінами.

Фаза резистентності, або *фаза стійкості* — розвивається за більш тривалої дії стрес-фактора і за умови, що організм здатний перебороти його. Організм при цьому має можливість адаптуватися до дії подразника за рахунок вмикання широкого спектра механізмів захисних пристосувань (посилення функцій надниркових залоз, клітинних і гуморальних чинників природної резистентності). У цій фазі організм, переборовши вплив несприятливих умов, нормалізує обмін речовин, відновлює гомеостаз, підвищується його опірність захворюванням.

Фаза виснаження — настає тоді, коли дія стрес-фактора триває, а організм більше нездатний протистояти його шкододії. Ця фаза

характеризується пригніченням функцій надниркових залоз, різким зниженням опірності організму, переваженням процесів розпаду (дисиміляції) над процесами синтезу (асиміляції), що спричинює швидку втрату живої маси, зниження продуктивності і підвищення уразливості різними хворобами. Такий стан характеризують іще як дистрес. Захисні сили організму виснажуються і він втрачає здатність до опірності. Організм, який вичерпав усі свої пристосувальні і захисні властивості, гине.

3.11. Внутрішньопопуляційні та міжвидові відносини між тваринними організмами

У штучному середовищі фермського біоценозу формується біоценоз, який різниться від природного. Основний його компонент — популяція сільськогосподарських ссавців і птиці. Роль їх як домінантів-едифікаторів значною мірою залежить від мікроклімату (зооклімату) в тваринницьких приміщеннях, який побічно впливає на формування і розвиток фермського біогеоценозу. Рослинний світ біоценозу формують різні види мікрофлори, іноді патогенної (хвороботворної). Фауна угруповань може бути представлена різними видами тварин. Деякі з них є збудниками (патогенні гельмінти) і переносниками інфекційних хвороб сільськогосподарських тварин (миші, щури, горобці, голуби тощо). У фермських біогеоценозах харчові ланцюги залучені у сферу діяльності людини, яка сіє кормові рослини, збирає врожай, заготовляє, збирає і переробляє корми. Слід зазначити, що нині більш поширена заготівля силосу і сінажу, раніше — сіна. Велике значення мають складання і застосування збалансованих кормових раціонів, що забезпечує швидкий ріст і розвиток тварин, їх високі продуктивність і відтворювальну здатність. Відразу після народження більшість видів свійських тварин потрапляють під опіку людини (наприклад, випоювання телят молозивом і молоком).

Людина застосовує прогресивні методи заготівлі, зберігання і переробки кормів, підготовку їх до згодовування і раціональної годівлі з використанням різних кормових добавок. Правильно організована, якісна годівля сільськогосподарських тварин сприяє зростанню їх поголів'я, підвищенню продуктивності і відтворювальної здатності. Неякісна або несвоєчасна годівля може призвести до негативних наслідків — отруєння, виникнення хвороб, зниження продуктивності тощо. Спосіб життя тварин у приміщеннях різниться від пасовищного їх утримання. У тваринницьких промислових комплексах і фермах тваринам відводиться пасивна роль, а збільшується роль людини. На відносно обмежених площах концентрується велика

кількість тварин, обмежується їх свобода, збільшується насильство над ними.

Простір стає лімітуючим екологічним чинником. Між особинами, які становлять популяцію, розгортається внутрішньопопуляційна боротьба за життєво важливий простір, що супроводжується виникненням стресів, зниженням вгодованості тварин, їх продуктивності і відтворювальної здатності. Збільшення щільності утримання тварин спричинює загострення ієрархічної взаємодії між тваринами, частішають конфлікти між ними. Особливо різко ці відносини виявляються в місцях тимчасового переущільнення тварин — у вузьких проходах, біля годівниць.

Тварини-лідери домінують біля годівниць, відганяють конкурентів (тварин нижчого рангу) і поїдають кращі корми. Це негативно позначається на вгодованості, стійкості до хвороб, продуктивності тварин нижчого ієрархічного рівня.

Тварини-лідери не тільки краще годуються, а й вибирають найзручніші місця для відпочинку, стояння і вилежування. За безприв'язного утримання великої рогатої худоби домінування виражене сильніше, ніж за прив'язного.

Переущільнення популяції може призвести до безпліддя корів, овець, свиней, кіз та інших видів тварин. Стресові ситуації виникають при перегрупуванні тварин, відлученні приплоду від матері тощо. Тому дуже важливо цілеспрямовано здійснювати екологічно обґрунтовану регуляцію й оптимізацію процесів, які відбуваються у фермській екосистемі, на тваринницьких фермах, комплексах, птахофабриках із виробництва молока, м'яса, яєць та іншої тваринницької продукції. Для цього треба оптимізувати місце проживання тварин відповідно до вимог технологічних проектів для кожного виду тварин, дотримуватися санітарно-гігієнічних умов, підтримувати рухову активність тварин (вигул, моціон). Серед інших чинників провідна роль відводиться повноцінній годівлі тварин. Потрібно шукати принципово нові підходи до вирішення проблеми утилізації гною. Вирішення цих та інших проблем у тваринництві може бути успішним за умови використання досягнень сучасної екології.

Запитання для самоконтролю

1. Що вивчає наука демекологія (екологія популяції)? **2.** Що ви знаєте про агрофітоценоз? **3.** Дайте визначення культурних рослин і бур'янів. **4.** Наведіть приклади співжиття в агрофітоценозах. **5.** У чому полягає екологічна роль багаторічних бобових трав? **6.** Схарактеризуйте основні біологічні групи бур'янів. **7.** Що вивчає наука зооекологія? **8.** Як впливає стадо сільськогосподарських тварин на пасовищний фітоценоз? **9.** Як впливає тваринництво на навколишнє середовище?





Розділ 4

ҐРУНТ

4.1. Ґрунт — базова складова агроекосистеми. Полікомпонентна і поліфункціональна системи

Ґрунтом називають верхній пухкий шар земної кори (літосфери), що утворився і змінюється в результаті вивітрювання гірських порід і безперервного впливу фізико-хімічних, біологічних процесів та діяльності людини; ґрунт — це складний комплекс органічних і мінеральних сполук, у процесі розвитку він набув основної своєї ознаки — *родючості*.

Поняття про ґрунт і родючість невід'ємні одне від одного.

Ґрунти з їх природною родючістю на земній кулі сформувалися у процесі складного перетворення порід і мінералів під впливом кліматичних і біологічних чинників. *Утворення ґрунту* — це процес взаємодії гірської породи з водою, повітрям і живими організмами — мікроорганізмами, вищими рослинами і тваринами.

Під впливом живих організмів, що оселяються на породі, верхній шар її збагачується на органічні речовини, які зазнають подальших змін і перетворюються на доступні для рослин поживні речовини. Внаслідок біологічного, хімічного і фізичного вивітрювання у породах накопичуються зольні речовини, змінюються їх склад і властивості, вони поступово перетворюються на нове природне тіло — ґрунт. За різних поєднань цих природних чинників утворюються неоднакові типи ґрунтів. Територія України характеризується великою різноманітністю природних умов і ґрунтового покриву. Тут

простежується як горизонтальна, так і вертикальна зональність ґрунтів, чітко виділяються ґрунтово-кліматичні зони — Полісся, Лісостеп, Степ, передгірні і гірські райони Карпат і Криму. В Україні понад 600 видів ґрунтів, об'єднаних у 17 типів та 35 підвидів. За родючістю ґрунти різних типів різняться один від одного, що зумовлено неоднаковим поєднанням природних чинників ґрунтотворення та наслідками господарської діяльності людини.

Ґрунт — найголовніший елемент зовнішнього середовища, базова складова агроекосистеми. Ґрунти впливають на клімат (мікроклімат) місцевості, на розвиток рослинності, стан окремих галузей народного господарства; їх родючість враховують при забудові і плануванні населених пунктів, благоустрої й експлуатації останніх.

Ґрунти постійно прямо чи опосередковано пов'язані з сільськогосподарськими тваринами. Безпосередньо на організм тварин впливають повітряний, водний і тепловий режими ґрунту. Стан атмосферного повітря і його переміщення певною мірою залежать від стану повітря у ґрунті. Водний режим ґрунту позначається на ботанічному складі рослин, вологості повітря в приміщеннях. Від фізико-хімічних властивостей ґрунту залежить якість рослинних кормів і питної води.

Ґрунт є основним природним приймачем і поглиначем різноманітних відходів. Як накопичувач різних нечистот він може забруднюватися патогенною мікрофлорою, яйцями і зародками гельмінтів. При контакті з таким ґрунтом тварини можуть уражуватися багатьма інфекційними та інвазійними хворобами. Тому санітарний стан ґрунту має принципово важливе значення при виборі місць під тваринницькі комплекси, літні табори, очисні споруди тощо.

Україна має унікальний агротехнічний потенціал, який залишається значним навіть після багатовікового нераціонального використання агроресурсів. Екстенсивний розвиток землеробства в Україні призвів до порушення оптимального співвідношення між сільськогосподарськими угіддями й орними землями, порушена рівновага використання ресурсів у басейнах малих річок (табл. 4.1).

Нині в Україні зруйновано водою близько 10,2 млн га, площа ерозійно небезпечних ґрунтів досягла 17 млн га.

Загрозливих розмірів набула дегуміфікація орних земель. Все це знижує не тільки рівень урожайності сільськогосподарських культур та якість урожаю, а й загальний екологічний рівень агроекосистем усіх рівнів.

За оцінкою науковців, на сьогодні близько 20 % орних земель забруднено важкими металами, понад 9,0 млн га сільськогосподарських угідь зазнали радіоактивного забруднення внаслідок катастрофи на ЧАЕС, значні площі ґрунтів щорічно забруднюються пестицидами.

Таблиця 4.1. **Класифікація використання земельних ресурсів у басейнах малих річок**

Показник	Критерій використання, %				
	незадовільне	нижче норми	норма	поліпшене	добре
Зона Карпат					
Лісистість	<45	44,5 – 55	55 – 60	60 – 65	>65
Сільськогосподарська освоєність	>40	40 – 35	35	35 – 30	<30
Розораність	>25	25 – 15	15	15 – 10	<10
Урбанізація	>4	4 – 2	2	2 – 1	<1
Змив ґрунту, т/га	>8	8 – 5	5	5 – 2	<2
Зона Полісся					
Лісистість	<25	25 – 35	35 – 40	45 – 50	>50
Сільськогосподарська освоєність	>60	60 – 55	55	55 – 50	<50
Розораність	>35	35 – 30	30	30 – 25	<25
Урбанізація	>5	5 – 4	4	4 – 2	<2
Змив ґрунту, т/га	>8	8 – 4	4 – 3	3 – 2	—
Лісостеп лівобережний					
Лісистість	>75	75 – 70	70 – 65	65 – 60	<60
Сільськогосподарська освоєність	<12	12 – 14	14 – 15	15 – 17	>17
Розораність	>60	60 – 65	55 – 50	50 – 45	<45
Урбанізація	>5	5 – 4	4	4 – 2	<2
Змив ґрунту, т/га	>12	12 – 9	9-8	8 – 2	<2
Степ лівобережний					
Лісистість	>75	75 – 65	65	65 – 55	<55
Сільськогосподарська освоєність	<7	7 – 10	10	10 – 15	>15
Розораність	>60	60 – 55	55	55 – 50	<50
Урбанізація	>12	12 – 9	9	9 – 6	<6
Змив ґрунту, т/га	>12	12 – 8	8	8 – 3	<3

Незалежно від походження ґрунти складаються з твердої, рідкої і газуватої фаз, які взаємопов'язані. Незначні зміни однієї з них неминуче призводять до змін інших. Тверда частина ґрунту складається з дрібно- і великозернистих мінералів та органічної частини (гумус, нерозкладені рештки рослин тощо).

4.2. Чинники ґрунтотворення

Основними чинниками ґрунтотворення є: рослинний і тваринний світ, материнська (ґрунтотворна) порода, клімат, рельєф місцевості, вік ґрунту, суспільно-виробнича діяльність людини. Всі вони взаємозв'язані і певною мірою взаємообумовлені. Процес ґрунтотворення за своєю природою є біологічним, оскільки в ньому беруть участь різні групи вищих рослин і мікроорганізмів. Перші (хлорофільні) синтезують органічну речовину, другі (безхлорофільні) — руйнують її. Без вищих рослин і мікроорганізмів неможливе утворення ґрунту. Кількість і склад органічної речовини, розподіл її по поверхні ґрунту, інтенсивність розкладання неоднакові, вони залежать від складу рослин. Зелені рослини поділяють на дерев'янисті і трав'янисті.

До дерев'янистих рослин належать різні дерева (хвойні і широколисті) і кущі. Основна маса їх (75 – 80 %) знаходиться над земною поверхнею. Відмерле листя, хвоя, гілки і плоди утворюють лісову підстилку. Продукти розкладання рослинних опадів (різні органічні і мінеральні сполуки) вимиваються дощами в нижче розміщені шари і закріплюються в них. Найінтенсивніше мінеральна частина ґрунту руйнується під хвойним лісом, оскільки під час розкладання хвої та гілок утворюються особливі кислоти (фульвокислоти).

Опад широколистих лісів розкладається не в кислому середовищі, а в нейтральному, оскільки кислоти нейтралізуються солями кальцію, на які багаті ці опади. Ґрунти, сформовані під покривом широколистих лісів, родючіші.

Важливу роль у ґрунтотворенні відіграє трав'яниста рослинність луків і степу, що включає різні однорічні і багаторічні трави. Відмерла надземна маса трав з року в рік накопичується на поверхні у вигляді повсті, маса щорічного накопичення в лучних степах у 2 – 3 рази більша, ніж у хвойних лісах. З часом тут створюється багато органічної речовини. Цей тип ґрунтотворення отримав назву степового, або дернового. Так формуються високородючі ґрунти.

У ґрунтотворенні бере участь величезна кількість мікроорганізмів: бактерій, грибів, актиноміцетів, водоростей. В 1 г ґрунту може міститись декілька мільярдів мікроорганізмів. Загальна жива маса їх у чорноземах досягає 10 – 15 т (у 25-сантиметровому шарі).

Значна роль у ґрунтотворному процесі і тваринних організмів — простих безхребетних і вищих хребетних, особливо черв'яків. Вони розпушують ґрунт і дещо змінюють його хімічний склад. Комахи, які живуть у ґрунті, живляться рослинними рештками і збагачують його на органічну речовину. Хребетні тварини — кроти, ховрахи, бабаки — копають у ґрунтах ходи, перемішують їх горизонти.

Поверхневі шари земної кори, з яких створюється ґрунт, називають ґрунтотворними, або материнськими, породами.

Мінеральна частина ґрунту залежить від материнської породи. На території України поширені такі основні ґрунтотворні породи: льодовикові, або моренні, відклади, водольодовикові наноси, намиті відклади, або ілювій, елювіальні породи, що залишилися на місці свого утворення, делювіальні — продукти вивітрювання гірських порід, що відклалися по схилу височин та біля підніжжя гір.

До осадових порід належать леси, на місці яких утворюються найродючіші ґрунти. Саме ґрунтотворні породи найбільше впливають на склад і фізико-хімічні властивості ґрунтів а також на швидкість та інтенсивність ґрунтових процесів. Слід підкреслити, що гранулометричний, хімічний і мінералогічний склад ґрунтів на перших стадіях їх розвитку повністю визначається складом ґрунтотворних порід. Тільки згодом, коли сформується профіль ґрунту, окремі генетичні горизонти набувають нових властивостей, відмінних від породи.

Від клімату залежать кількості тепла й опадів та характер їх розподілу. Кількості світла, тепла та опадів на земні кулі змінюються від екватора до полюсів. Спостерігається також зміна типів ґрунтів, яку називають *горизонтальною зональністю*. В гірських місцевостях клімат змінюється залежно від висоти, тому тут формується *вертикальна зональність* у зміні ґрунтів. Клімат прямо і побічно впливає на процеси ґрунтотворення. Атмосферні опади і тепло визначають інтенсивність біохімічних процесів у ґрунті, водний і тепловий режими. У вологих місцевостях вода проникає в ґрунтову товщу, розчиняє і переносить в інші горизонти, а також у ґрунтові води різні сполуки. На сухих територіях відбувається процес випаровування води з ґрунту, у верхніх шарах накопичуються водорозчинні солі. Так утворюються засолені ґрунти. Побічно клімат впливає через рослини.

Вплив рельєфу на процеси ґрунтотворення особливо сильно виявляється в горах. Різні умови зволоження, тепло- і світлозабезпечення на схилах гір зумовили формування різнобарвної рослинності і різних типів ґрунтів. Навіть відносно рівнинні місця через наявність підвищень, западин, схилів освітлюються, зволожуються, прогріваються по-різному. У знижених місцях накопичується вода, що призводить до утворення боліт. На стрімких схилах вода розмиває ґрунт. Ґрунтотворний процес відбувається постадійно не тільки в просторі, а й у часі. Тому в еволюції ґрунтів велике значення має їх вік. Вік найдавніших ґрунтів земної кулі — десятки мільйонів років. Старі ґрунти на території України — це ґрунти південних районів, яких не зачепило зледеніння. Наймолодші — в тундрі, де 5 – 10 тис. років тому вони звільнилися від льодовиків.

Ґрунти мають абсолютний і відносний вік. Під *абсолютним віком ґрунтів* розуміють проміжок часу, що минув із моменту їх формування до теперішнього часу. Різницю в стадіях розвитку ґрунтів

на одній спільній території, що має один абсолютний вік, В.Р. Вільямс назвав *відносним віком ґрунту*. Прояви відносного віку поширені у природі, особливо в місцях з нерівним рельєфом, різними ґрунтотворними породами, рослинністю, що впливає на напрям і швидкість розвитку ґрунтотворного процесу. У природних умовах на будь-якій, навіть невеликій території трапляється багато ґрунтів, що перебувають у різних стадіях розвитку.

Інтенсивний розвиток сільського господарства дає можливість не тільки збільшувати виробництво сільськогосподарської продукції і раціонально використовувати ґрунти, а й підвищувати їх родючість. Виробнича діяльність людини, спрямована на окультурення ґрунтів, є одним з основним чинників сучасного процесу ґрунтотворення. *Окультурення ґрунтів* — це цілеспрямоване поліпшення їхніх властивостей і підвищення родючості.

Ґрунти збагачують на поживні речовини внесенням органічних і мінеральних добрив. У широких масштабах запроваджують зрошення й осушення, вапнування кислих і гіпсування солонцюватих ґрунтів, агролісомеліорацію. Всі ці заходи впливають на напрям процесів ґрунтотворення і сприяють утворенню ґрунтів з високою потенційною й ефективною родючістю.

4.3. Родючість ґрунту — важливий чинник функціонування агроекосистеми

Родючість ґрунту — це властивість ґрунту задовольняти потреби рослин в елементах живлення, воді, забезпечувати кореневу систему достатньою кількістю повітря, тепла, сприятливими фізичними, хімічними та фізико-хімічними умовами для нормальної життєдіяльності.

Розрізняють такі види родючості ґрунту: природну, або потенційну, та штучну.

Природна, або *потенційна, родючість* формується і змінюється під впливом природних процесів ґрунтотворення і залежить від хімічного складу ґрунту, біологічних процесів, які відбуваються в ньому, фізико-хімічних властивостей, кількості та якості гумусу, реакції ґрунтового розчину, інших показників.

Штучна родючість створюється в процесі використання ґрунту як основного засобу виробництва, залежить від продуктивних сил і виробничих відносин.

Ефективна, або *економічна*, *родючість* створюється сукупністю природної і штучної. Вона визначає кількість і якість урожаю.

Основні умови родючості ґрунту:

1) достатній вміст поживних речовин у доступній для рослин, що вирощуються, формі упродовж усього вегетаційного періоду;

2) повна забезпеченість фізіологічно доступною вологою;

3) оптимальний газообмін, який підтримує необхідний для рослин вміст кисню в ґрунтовому повітрі;

3) відсутність шкідливих речовин;

4) легка проникність коренів, яку забезпечує наявність потужного шару ґрунту, звідки рослини поглинають елементи живлення і вологу.

Кожна з цих умов має однаково важливе значення для функціонування конкретної агроекосистеми.

Агрономічно значущі показники родючості ґрунту:

1) гранулометричний склад;

2) вміст гумусу;

3) хімічний склад;

4) структурність;

5) водно-повітряний режим;

6) тепловий режим;

7) будова профілю;

8) рослинність;

9) біологічна активність.

Всі ці природні чинники взаємозумовлені і взаємопов'язані.

Активна, цілеспрямована діяльність людини щодо поліпшення якості ґрунту визначається поняттям «ефективна родючість». Сьогодні цю проблему розглядають на рівні моделювання родючості ґрунту. Це новий, ефективний, перспективний методологічний підхід у пізнанні і практичній реалізації шляхів керування родючістю ґрунту.

Під моделлю родючості ґрунту слід розуміти сукупність агрономічно значущих властивостей ґрунту, які забезпечують певний рівень продуктивності рослин.

Екологічна роль гумусу

Гумус — складний динамічний комплекс органічних сполук, що утворюється внаслідок розкладання і гуміфікації решток рослинного і тваринного походження.

Розвиваючи вчення В.І. Вернадського, В.А. Ковда підкреслював загальнопланетарну роль ґрунтів, зокрема як акумулятора органічної речовини і пов'язаної з нею енергії, що формує стійкість біосфери. Він запропонував вважати гумусний шар ґрунтів планети особливою енергетичною оболонкою — гумосферою. Рослинні рештки, що надходять у ґрунт, мають 17 – 21 кДж енергії на 1 г сухої речовини, 1 г гумінової кислоти — 18 – 22 кДж, 1 г фульвокислоти — близько 19 кДж, 1 г ліпідів — 35 кДж. Ґрунти із середнім вмістом органічної речовини 4 – 6 % і середніми запасами гумусу 200 –

400 т/га накопичують на одному гектарі стільки енергії, скільки дають 20 – 30 т антрациту. Наприклад, болгарські вчені підрахували, що майже всі природні енергетичні ресурси їхньої країни зосереджені в гумосфері.

Енергію органічної речовини ґрунтів використовують мікроорганізми і безхребетні тварини для забезпечення своєї життєдіяльності, для фіксації азоту, а також багатьох процесів у тілі ґрунтового профілю з трансформації маси ґрунту, відтворення і підтримання його родючості.

Підтримання запасів органічної речовини ґрунту означає збереження його енергетичного потенціалу. Проте в останні десятиліття цю фундаментальну проблему було випущено з поля зору розробниками індустріальних технологій вирощування сільськогосподарських культур, внаслідок чого запаси гумусу в ґрунтах істотно зменшились.

У ґрунті в органічній формі акумульовано 98 % запасів азоту, 60 % — фосфору, 80 % — сірки, велика кількість інших елементів, які перебувають в органічно зв'язному стані, надійно зберігаються в ґрунті і слугують важливим джерелом поживних речовин для рослин. Наявність у ґрунті навіть невеликої кількості гумусних речовин, які входять до складу органо-мінеральних і органічних колоїдів, збільшує його вбирну здатність внаслідок підвищення обмінної ємності гумінових кислот. Якщо обмінна ємність мінеральних колоїдів чорноземів становить 70 – 90, то органо-мінеральних — 150 – 200, органічних — 400 – 500 мг-екв/100 г ґрунту. В середньому обмінна ємність гумусу в 10 разів більша, ніж мінеральної частини ґрунту. Гумусні колоїди — це плазма ґрунту.

Гумусні речовини, особливо свіжоутворені, виявляють склеювальну здатність, що чинить великий вплив на утворення агрономічно цінної, зв'язної, водостійкої і пористої структур ґрунту.

Гумус і живлення рослин. Внаслідок обробітку ґрунту гумус поступово розкладається, поживні речовини, що вивільняються при цьому в мінеральній формі, використовуються рослинами. Особливе значення має азот органічної речовини ґрунту. За відсутності азотних добрив урожай однорічних небобових рослин майже цілком формується за рахунок азоту, що вивільняється під час мінералізації ґрунту.

У процесі розкладання гумусу мікроорганізмами крім азоту вивільняються й інші поживні речовини (фосфор, сірка, мікроелементи), а також діоксид вуглецю CO_2, необхідний для фотосинтезу рослин. Наприклад, для формування врожаю озимої пшениці 50 ц/га в період її інтенсивного росту добова потреба в CO_2 перевищує 200 кг/га. Оскільки 70 % цієї кількості забезпечується за рахунок мінералізації гумусу ґрунту, органічних добрив, рослинних решток,

то ця потреба залишається актуальною навіть за достатнього технічного і ресурсного забезпечення (пальне, мінеральні добрива, засоби захисту рослин, наявність необхідної техніки).

Гумус і врожай. Гумус справляє прямий і опосередкований вплив на врожай сільськогосподарських культур. Прямий вплив зумовлений використанням рослинами азоту та інших поживних речовин, що містяться в гумусі і вивільняються під час його мінералізації; опосередкований полягає в поліпшенні умов росту рослин на більш гумусованих ґрунтах і підвищенні коефіцієнта використання поживних речовин добрив.

Вплив гумусу на врожай сильніше виявляється на бідних на органічну речовину ґрунтах, наприклад на дерново-підзолистому.

Численні дослідження підтверджують що за слабкого ступеня змитості, коли вміст гумусу порівняно з розмитими ґрунтами зменшується на 10 – 12 %, врожай більшості культур знижується на 10 – 30 %, за середнього ступеня змитості (зменшення вмісту гумусу в ґрунті на 20 – 50 %) — на 30 – 60 %, за сильного ступеня змитості (зменшення вмісту гумусу більш як на 50 %) — на 60 – 80 %.

Існує певний рівень вмісту гумусу, що забезпечує найвищу ефективність застосування засобів хімізації й отримання максимальних врожаїв. Такий рівень вважають оптимальним. Його величина залежить від багатьох чинників і змінюється для різних регіонів України і для різних ґрунтів у межах одного регіону.

Оптимальний вміст гумусу для дерново-підзолистих ґрунтів становить 1,6 – 2,0 %, супіщаних — 2,0 – 2,5, суглинкових — 2,5 – 3,0, сірих лісових — 3,5 – 4,0 %. У лісостеповій і степовій зонах показники оптимального вмісту гумусу вищі і становлять для чорноземів близько 5 – 7 %.

Втрати гумусу ґрунтами пояснюють насамперед умовами мінералізації органічної речовини внаслідок підвищення інтенсивності їх обробітку, збільшення частки просапних культур, скорочення частки багаторічних трав у польових сівозмінах, однобічного застосування мінеральних добрив (особливо на фізіологічно кислих ґрунтах), неповного використання рослинних решток на добрива, випалювання стерні, а іноді й соломи, відчуження органічної речовини ґрунту з врожаєм, прояв водної і вітрової ерозії ґрунтів.

Разом з ростом врожаю збільшується відчуження за межі поля азоту гумусу. При цьому чисті, тобто нескомпенсовані новоутворення гумусних речовин за рахунок стерні і коренів, втрати гумусу ґрунтом при вирощуванні зернових культур залежно від рівня врожаю досягають 0,5 – 1 т/га за рік. Під просапними культурами втрати гумусу, зумовлені формуванням врожаю й обробітком ґрунту, зростають у 2 – 3 рази. Так, збільшення в сівозміні частки просапних

культур лише на 10 %, за даними ІГА, підвищило втрати гумусу на типових чорноземах на 0,2 – 0,4 т/га.

У деяких регіонах дуже великі втрати гумусу ґрунтом відбуваються під впливом водної та вітрової ерозії (в середньому 0,1 – 0,4 т/га, на окремих ділянках схилів — 1,0 – 1,5 т/га за рік). У змитих ґрунтах запаси гумусу зменшуються на 50 – 60 %. Сучасні чорноземи України, які в середині XX ст. містили 10 – 13 % гумусу, містять його всього 7 – 10 і навіть 4 – 7 %.

Найінтенсивніші втрати гумусу спостерігаються з 1960-х років, що пов'язано з переведенням сільськогосподарського виробництва на інтенсивні технології без урахування екологічних наслідків цього процесу.

Найбільше він потерпає від ерозії, яка знищує загалом по Україні понад 23 млн т гумусу за рік.

Органічна речовина ґрунту

Органічна речовина ґрунту — дуже важлива його складова. Її утворення пов'язане з біологічними і біохімічними трансформаціями рослинних і тваринних решток за безпосередньої участі мікроорганізмів, кисню і води.

Основним агрономічно значущим показником органічної речовини ґрунту є кількісна та якісна оцінка вмісту в ньому гумусу. Вміст гумусу в ґрунтах підпорядкований певній зональності й зумовлюється типом і гранулометричним складом ґрунту, характером ґрунтотворних порід, кліматичними умовами (табл. 4.2).

Таблиця 4.2. **Вміст і запаси гумусу в ґрунтах Полісся і Лісостепу (0 – 20 см)**

Тип ґрунту	Вміст, %	Запаси т/га
Дерново-підзолистий		
піщаний	0,6 – 1,0	18,6 – 31,4
глинисто-супіщаний	1,0 – 1,5	30,0 – 45,0
легкосуглинковий	1,5 – 1,7	45,0 – 51,0
Сірий і світло-сірий лісовий		
супіщаний	1,2 – 1,6	36,0 – 48,0
легкосуглинковий	1,6 – 2,3	44,8 – 64,4
середньосуглинковий	1,8 – 2,5	48,6 – 67,5
важкосуглинковий	2,3 – 2,4	57,5 – 60,0
Темно-сірий лісовий		
легкосуглинковий	2,0 – 3,4	56,0 – 95,2
середньосуглинковий	2,6 – 3,4	70,2 – 91,8
важкосуглинковий	3,0 – 3,6	75,0 – 90,0
Чорноземний опідзолений		
легкосуглинковий	2,6 – 3,7	72,8 – 103,6
середньосуглинковий	3,1 – 4,9	83,7 – 132,3
важкосуглинковий	3,2 – 4,5	80,6 – 112,5

Закінчення табл. 4.2

Тип ґрунту	Вміст, %	Запаси т/га
Чорноземний типовий		
легкосуглинковий	3,0 – 3,9	75,0 – 97,5
середньосуглинковий	3,9 – 4,9	93,0 – 117,6
важкосуглинковий	4,7 – 6,0	117,5 – 150,0

Роль гумусу у формуванні і розвитку родючості ґрунту досить різнобічна. Він постачає поживні речовини, безпосередньо впливає на водно-повітряний режим, структурність, теплоємність, буферність та інші показники родючості ґрунту, слугує джерелом енергії для мікроорганізмів, містить речовини, що активують ріст, посилює ефективність мінеральних добрив.

4.4. Роль мінеральної речовини ґрунту у формуванні його родючості

Мінеральна частина в середньому становить 55 – 60 % об'єму і 90 – 97 % маси ґрунту. За походженням і складом вона пов'язана насамперед із мінералами магматичних і осадових гірських порід, на яких відбувається ґрунтотворний процес. Польові шпати, силікати, кварци, карбонати, слюди досягають 85 % мінеральної складової ґрунту. Найважливіші хімічні (запас і форми поживних речовин), фізичні (структура, водо- і повітропроникність, набухання) та біологічні властивості ґрунту тісно пов'язані з його мінеральним складом, що великою мірою визначає рівень його природної родючості і виявляється насамперед через гранулометричний склад — важливий показник агрономічної і виробничої характеристики родючості ґрунту. Під *гранулометричним складом* ґрунту зазвичай розуміють відносний вміст у ньому механічних елементів різного розміру.

Для класифікації ґрунтів за гранулометричним складом використовують спеціальну шкалу, основними критеріями якої є співвідношення в ґрунті вмісту фізичної глини (мінеральні часточки менші за 0,01 мм) і фізичного піску (мінеральні часточки розміром понад 0,01 мм).

Піщані ґрунти збідненні на гумус та поживні речовини, добре пропускають воду, але слабко затримують її, добре керовані, навесні швидко прогріваються, легко орються.

Глинисті ґрунти мають підвищену щільність, слабку аерацію, вбирають багато вологи, але погано пропускають її в глибші горизонти, в сирому вигляді мають підвищені в'язкість і липкість, у сухому — велику твердість. Глинисті ґрунти важко орати, питомий опір їх під час обробітку значно вищий, ніж супіщаних.

Кращими для сільськогосподарського використання є *суглинкові ґрунти*, що займають проміжне положення між глинистими і піщаними.

На *супіщаних ґрунтах* добрива слабко вбираються і можуть у великих кількостях переміщуватися з водою по профілю ґрунту. Це призводить до їх великих втрат, особливо в регіонах з достатнім і надмірним зволоженням.

Гранулометричний склад ґрунту — одна з його агрономічно важливих властивостей, що визначає форму, строки та способи внесення добрив. У глинистих ґрунтах поживні речовини добрив інтенсивно вбираються, повільно пересуваються по профілю. Втрати їх незначні.

4.5. Буферність ґрунту

Під буферністю ґрунту загалом розуміють його здатність підтримувати сталою реакцію середовища (pH) за дії на нього кислот і лугів. Сьогодні це поняття розглядається значно ширше, а саме як здатність ґрунту протидіяти зовнішнім навантаженням і зберігати свої основні функції (рис. 4.1).

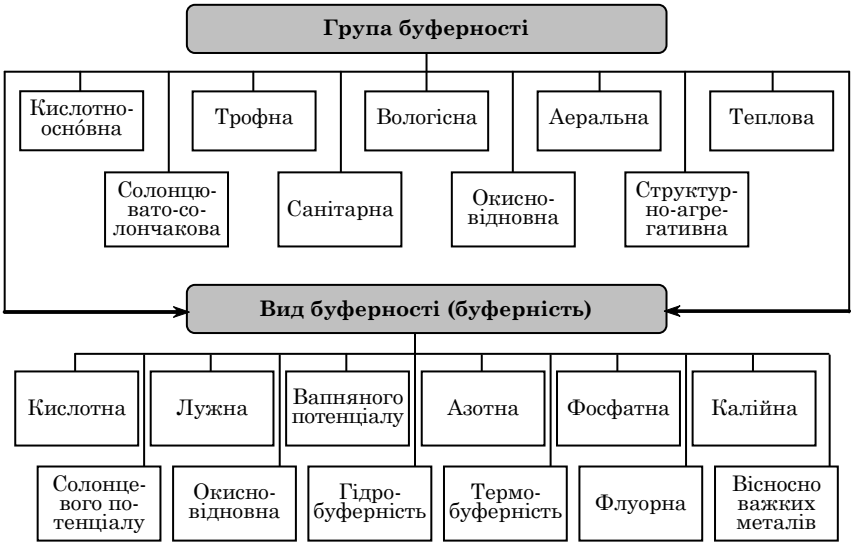


Рис. 4.1. Класифікаційна схема буферності ґрунтів
(за Р.С. Трускавецьким, 2003)

Кислотна буферність — здатність ґрунту протистояти впливу кислот органічного і мінерального походження. Має прямий і опо-

середкований вплив на агрономічно значущі показники ґрунту та проведення хімічних меліорацій.

Лужна буферність — здатність ґрунту протистояти впливу лугів будь-якого походження. Має істотне еколого-технологічне значення, в тім числі при проведенні хімічних меліорацій.

Буферність вапняного потенціалу є генетичною ознакою ґрунту, визначає особливості еколого-меліоративних та еколого-технологічних вирішень при вапнуванні ґрунтів, визначенні запасу поживних речовин, розробці системи удобрення.

Азотна буферність — здатність ґрунту зберігати азотну рівновагу в процесі іммобілізації та мобілізації мінеральних форм азоту ґрунту і добрив.

Фосфатна буферність — здатність ґрунту протистояти змінам потенціалу фосфору ґрунтового розчину при внесенні фосфору в ґрунт або споживанні його з ґрунту рослинами.

Калійна буферність — здатність ґрунту протистояти змінам калійного потенціалу ґрунтового розчину при внесенні калійних добрив у ґрунт або споживанні його з ґрунту рослинами. Враховують під час розробки системи удобрення сівозміни.

Буферність солонцевого потенціалу — здатність ґрунту протистояти зміні ґрунтово-вбирного комплексу (ҐВК) як основи хімічних меліорацій солонцюватих земель.

Окисно-відновна буферність — здатність ґрунту зберігати окисно-відновний потенціал (ОВП) на певному рівні після внесення окисників або відновників та в разі коливання вологості і температури ґрунту. Істотно впливає на живий моноліт ґрунту і всі процеси, пов'язані з живленням сільськогосподарських рослин.

Гідробуферність — здатність ґрунту акумулювати й раціонально витрачати депоновану ним продуктивну вологу, а також зберігати оптимальні гідроаеральні умови життєдіяльності рослин під впливом перезволоження чи висушування.

Термобуферність — здатність ґрунту протистояти зміні температурного поля насамперед кореневої зони рослин, що істотно впливає на їх ріст і розвиток. Високу термобуферність мають торфові ґрунти.

Флуорна буферність — здатність ґрунту протистояти накопиченню флуору (фтору). Фітофлуорна акумуляція не створює небезпеки для рослини. Флуор міцно закріплюється ґрунтом у недоступній для рослин малорозчинній формі, особливо за високої концентрації в ґрунтовому розчині іонів Ca^{2+}. В дерново-підзолистих ґрунтах флуорна буферність значно нижча, ніж у ґрунтах чорноземного типу.

Буферність відносно важких металів — здатність ґрунту протистояти накопиченню важких металів, у тім числі й радіонуклідів. Розглядають як один із важливих критеріїв еколого-технологічної оцінки сільськогосподарського поля.

Отже, дефініція буферності, за Р.С. Трускавецьким, ґрунтується на міцності зв'язків структурної і функціональної частин ґрунтової системи. Буферність відносно того чи іншого елемента родючості визначається здатністю ґрунту до зміни параметрів наймобільнішої і найдоступнішої частин елемента родючості («фактора інтенсивності») та до опору зовнішнім діям і впливам, спрямованим на цю зміну.

4.6. Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту та агроекологічне групування земель

На сьогодні комплексна еколого-технологічна оцінка ґрунту в системі ґрунт — рослина — технологія — економіка є основою ведення екологічно збалансованого землеробства, проведення виваженої аграрної реформи, розробки перспективних державних програм щодо підвищення ефективності роботи АПК — однієї з найважливіших складових національної економіки.

Базовими складовими її є еколого-агрохімічна оцінка ґрунту та агроекологічне групування земель.

Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту

Агрохімічні показники ґрунту є основними параметрами, які визначають якість земель, регламентують рівень програмованої урожайності сільськогосподарських культур, а відтак обсяги і перспективи тукової промисловості та ін.

Згідно з Указом Президента України № 1018/95 від 02.12.95 р. і наказом Мінсільгосппроду № 336 від 13.12.95 р. в країні проводиться еколого-агрохімічна паспортизація полів та земельних ділянок. Її мета — створення інформаційної бази землекористування, що дасть змогу раціональніше використовувати земельні ресурси, планувати заходи з підтримання і підвищення родючості ґрунтів, оптимізувати технології вирощування сільськогосподарських культур, проводити економічну оцінку земель.

Еколого-агрохімічний паспорт поля — це документ, в якому зосереджена інформація про родючість ґрунтів та їх агроекологічний стан. Він розробляється для кожного поля або земельної ділянки на основі матеріалів агрохімічного, радіологічного та інших видів моніторингу ґрунтів, у тім числі на вміст важких металів і решток пестицидів. Цими паспортами обґрунтовують заходи, спрямовані на раціональне використання й підвищення родючості ґрунтів, поліпшення їх агроекологічного стану.

Агрохімічну оцінку якості ґрунту проводять агроекологічним методом з використанням показників, які характеризують його внутрішні властивості, і виражають у балах. За 100 балів взято еталон-

ний ґрунт із найбільшими значеннями показників властивостей ґрунту, інші ґрунти оцінюють відносно еталона.

Еколого-агрохімічний стан ґрунту визначають внесенням в агрохімічну оцінку поправки на забруднення його радіонуклідами, важкими металами та пестицидами з урахуванням кліматичних умов території, зрошення, осушення, кислотності, засоленості ґрунтів та ін.

Агрохімічна оцінка ґрунтів поля (земельної ділянки), господарства, інших територіальних одиниць (район, область, республіка) визначає рівень їх окультуреності. Еколого-агрохімічні паспорти включають показники не лише родючості, а й дані про забрудненість ґрунтів токсикантами антропогенного походження, тобто зведені показники агроекологічного стану поля, земельної ділянки, інших територіальних одиниць.

Еколого-агрохімічні паспорти розробляються окремо для різних видів сільськогосподарських угідь: орних земель, багаторічних насаджень, сіножатей, пасовищ, у тім числі для зрошуваних та осушених земель.

Зведені відомості еколого-агрохімічної оцінки ґрунтів також складаються окремо по сільськогосподарських угіддях (орні землі, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища, зрошувані та осушені землі).

За потреби визначають середньовиважену оцінку земельних угідь по господарству, інших територіальних одиницях (район, область, республіка).

Основними показниками, за якими визначають агрохімічний стан ґрунтів поля, є: вміст в орному шарі гумусу, азоту (легкогідролізованого), рухомого фосфору, обмінного калію, мікроелементів (мангану, молібдену, цинку, міді, бору, кобальту), а також кислотність ґрунту, ємність вбирання, сума увібраних основ, щільність ґрунту, максимально можливі запаси продуктивної вологи в шарі 0 – 100 см.

Екологічний стан поля визначається рівнем антропогенного забруднення радіонуклідами (цезій-137, стронцій-90), важкими металами (рухомі форми кадмію, цинку, міді, свинцю, ртуті), рештками ДДТ, іншими високотоксичними пестицидами.

Основою для складання еколого-агрохімічного паспорта поля (табл. 4.3) є дані суцільного ґрунтово-агрохімічного, радіологічного, просторово-пестицидного моніторингу сільськогосподарських угідь, а також обстеження ґрунтів щодо вмісту важких металів і погіршення їхніх агрофізичних властивостей.

Джерелами вхідної інформації є ґрунтовий опис, карти ґрунтів, нові дані агрохімічного обстеження ґрунтів, матеріали обстеження, результати аналізів стосовно забрудненості ґрунтів важкими металами і рештками пестицидів.

Таблиця 4.3. **Еколого-агрохімічний паспорт поля, земельної ділянки**

Область _____
Населений пункт _____
Сільськогосподарські угіддя _____
Район _____
Землекористувач _____
Зрошувані, осушені землі _____
Поле (земельна ділянка) № _____
Площа _____ Тип ґрунту, площа (га) _____
_____

Показники агроекологічного стану ґрунтів	Метод визначення	Середньовиважені величини по роках обстеження				
		199_р	199_р	200_р	200_р	200_р
Агрофізичні						
Щільність ґрунту, г/см^3						
Продуктивна волога (ММЗПВ) в 0 – 100 см, мм						
Фізико-хімічні та агрохімічні	Капіна рН					
Кислотність						
гідролітична, мг-екв/100 г ґрунту	Метричний					
обмінна, $pH_{сол}$	Потенціометричний					
актуальна, $pH_{вод}$	Потенціометричний					
Сума ввібраних основ, мг-екв/100 г ґрунту	Капіна — Гільковиця					
Тип засолення						
Ступінь засолення						
Вміст в орному шарі гумусу, %	Тюріна					
азоту, що легко гідролізується, мг/кг ґрунту	Корнфілда					
рухомого фосфору, мг/кг ґрунту	Кірсанова					
обмінного калію, мг/кг ґрунту	Кірсанова					
рухомих форм мікроелементів, мг/кг ґрунту	Колориметричний					
бору						
молібдену	Колориметричний					
мангану	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії					
кобальту						
міді						
цинку						

Закінчення табл. 4.3

Показники агроекологічного стану ґрунтів	Метод визначення	Середньовиважені величини по роках обстеження				
		199_р	199_р	200_р	200_р	200_р
Агрохімічна оцінка, бал	Атомно-абсорбційної спектрофотометрії					
Рівень забруднення						
Вміст рухомих форм, мг/кг ґрунту						
кадмію						
свинцю						
ртуті						
Рештки пестицидів, ДДТ і його метаболітів, мг/кг ґрунту	Газорідинної та тонкошарової хроматографії					
Гексахлоран (сума ізомерів), 2,4-Д амінна сіль, мг/кг ґрунту						
Щільність радіоактивного забруднення, Кі/км^2	Гамма-спектрометричний					
цезієм-137	Радіохімічний					
стронцієм-90						
Зведена еколого-агрохімічна оцінка, бал						

Складають еколого-агрохімічні паспорти по кожному туру ґрунтово-екологічного обстеження, тобто через кожні п'ять років.

З 1997 р. розпочався VII тур обстеження (I був проведений у 1966 – 1968 рр.).

На схемі паспортизації межі угідь позначають суцільними лініями різного кольору: орні землі — червоним, сіножаті — зеленим, пасовища — коричневим, багаторічні насадження — синім. Межі зрошуваних і осушуваних земель, поліпшення сіножатей і пасовищ виділяють штриховою лінією відповідного кольору.

Весь комплекс робіт проводять на рівні елементарної ділянки площею ріллі в Лісостепу — до 10 га, на Поліссі — до 5 га. На осушуваних землях максимальна площа елементарної ділянки дорівнює відповідно 5 і 3 га, на сіножатях і пасовищах — до 10 га, саду — до 4 га, хмільників — відповідає максимальній площі кварталу. Зразки відбирають з орного шару, а на хмільниках — із двох шарів 0 – 20 і 20 – 40 см.

Один зразок з елементарної ділянки формують із 20 – 25 проб. Його маса дорівнює 300 – 400 г, він призначений для визначення вмісту рухомого фосфору, обмінного калію і реакції ґрунтового роз-

чину. Для знаходження інших показників формують змішаний зразок із поля (але окремо для кожної ґрунтової відміни).

Методика встановлення зведеної еколого-агрохімічної оцінки передбачає врахування агрофізичних (максимально можливі запаси продуктивної вологи), фізико-хімічних (обмінна кислотність) та агрохімічних (вміст в орному шарі ґрунту гумусу, легкогідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, рухомих форм мікроелементів) показників родючості ґрунту, його забрудненості важкими металами, рештками пестицидів, радіонуклідами та ін.

Порядок встановлення еколого-агрохімічної оцінки

1. *Визначення агрохімічної оцінки ґрунту*

З цією метою ґрунт поля оцінюють у балах за його агрофізичними і агрохімічними властивостями відносно еталонних величин (але не більш як 100 балів), виводять середній бал усіх оцінкових показників, вводять поправки на кислотність ґрунту і після цього визначають агрохімічну оцінку ґрунту.

За еталонний ґрунт взято й оцінено 100 балами ґрунт, який містить в орному шарі: гумусу — 6,2 %, легкогідролізованого азоту — 255 мг/кг ґрунту (за Корнфілдом); рухомого фосфору — 176 мг/кг (за Чиріковим); обмінного калію — 151 мг/кг (за Чиріковим); рухомого бору — 1,5 мг/кг; рухомого молібдену — 0,15 мг/кг; рухомого мангану — 30 мг/кг; рухомого кобальту — 10 мг/кг; рухомої міді — 1,5 мг/кг; рухомого цинку — 1,5 мг/кг.

За еталонний за оптимальною величиною максимально можливих запасів продуктивної вологи в метровому шарі взято ґрунт із запасом вологи 200 мм.

Наприклад, за вмісту в ґрунті 3,5 % гумусу оцінка його в балах за цим показником становитиме $\frac{100 \cdot 3{,}5\ \%}{6{,}2\ \%} = 58$ балів.

Середній бал є середньою арифметичною величиною з її оцінкових показників.

Поправкові коефіцієнти на кислотність ґрунтового розчину встановлюють за даними табл. 4.4.

Таблиця 4.4. **Поправкові коефіцієнти на кислотність ґрунтового розчину**

Реакція ґрунтового розчину	$pH_{сол}$		Поправковий коефіцієнт	
	Мінеральний ґрунт	Торф'яний ґрунт	Полісся	Лісостеп
Близька до нейтральної	5,6 – 6,0	> 4,8	1,00	0,96
Слабкокисла	5,1 – 5,5	4,2 – 4,8	0,92	0,89
Середньокисла	4,6 – 5,0	3,5 – 4,2	0,85	0,81
Сильнокисла	До 4,5	До 3,5	0,74	0,71

2. *Визначення зведеної еколого-агрохімічної оцінки ґрунту*

Для цього до агрохімічної оцінки вводять поправки.

2.1. На вміст у ґрунті рухомих форм кадмію, свинцю, цинку.

Якщо вміст важких металів перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) в 2 рази, то оцінку знижують на 4 %, в 3 рази — на 8 %, в 4 рази — на 12 % і т.д. Поправковий коефіцієнт відповідно становить 0,96; 0,92; 0,88.

Довідка: ГДК, мг/кг: кадмій — 3,0; свинець — 20,0; ртуть — 2,1.

2.2. На забрудненість рештками пестицидів.

Поправкові коефіцієнти визначаються за таким самим принципом, як і в першому випадку.

Довідка: ГДК решток ДДТ, його метаболітів та гексахлорану становить 0,1 мг/кг, а 2,4-Д амінної солі) — 0,25 мг/кг ґрунту.

2.3. На забрудненість радіонуклідами.

2.4. На кліматичні умови.

Поправкові коефіцієнти встановлюють для адміністративних областей і ґрунтово-кліматичних зон з урахуванням наявності чи відсутності зрошення. Зокрема, для лісостепових районів Житомирської обл. він дорівнює 0,92, для поліських — 0,93, за умов зрошення — відповідно 1,06 і 1,00.

Поправкові коефіцієнти вводять послідовно.

Значення показників, а також агрохімічну і зведену еколого-агрохімічну оцінки в балах записують в еколого-агрохімічний паспорт поля, земельної ділянки (див. табл. 4.4).

Як нестача, так і надлишок макро- і мікроелементів негативно впливають на продукційний процес агроценозу й агроекосистему загалом, в тім числі тварин. Нижче наведено оцінку негативного впливу нестачі мікроелементів.

Елемент	*Оцінка*
Азот	Рослини відстають у рості, листки стають блідо-зеленими, дрібними, інтенсивність фотосинтезу істотно знижується
Фосфор	Уповільнюється розвиток рослин, особливо утворення репродуктивних органів, різко ослаблюється ріст пагонів і коренів
Калій	Відмирають тканини на старіших листках у периферійній частині (виявляється як крайовий «опік» листка), гальмується продукційний процес рослини й агроценозу загалом
Кальцій	Навіть за незначного дефіциту кінці коренів перестають рости, за гострого дефіциту корені відмирають, листки дрібнішають, продукційний процес гальмується

В сучасних умовах набуває підвищеної актуальності екологічна оцінка вмісту мікроелементів у ґрунтах (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. **Екологічна оцінка вмісту мікроелементів у ґрунтах,** мг/кг (за В. В. Ковальським, 1969)

Мікроелемент	Число досліджень	Нестача (нижня межа)	Норма	Надлишок (верхня межа)
Кобальт	2400	2 – 7 Акобальтози, лизухи, анемія, гіпо- та авітамінози B_{12}; загострення ендемічного зобу	7 – 30	> 30 Можливе пригнічення синтезу вітаміну B_{12}
Мідь	3194	< 6 – 15 Анемія, захворювання кісткової системи у тварин; полягання й недозрівання злаків, суховерхість плодових дерев	15 – 60	> 60 Анемія, гемолітична жовтяниця, ураження печінки у тварин, хлороз рослин
Манган	1629	До 400 Захворювання кісткової системи, можливе загострення ендемічного зобу у тварин; хлороз рослин, плямиста жовтяниця цукрових буряків	400 – 3000	> 3000 Захворювання кісткової системи у тварин; на кислих ґрунтах можлива токсична дія на рослини
Цинк	1927	До 30 Паракератоз свиней; хлороз, дрібнолистість та розетковість плодових дерев	30 – 70	> 70 Можлива анемія, пригнічення окиснювальних процесів
Молібден	1216	До 1,5 Захворювання рослин, особливо конюшини	1,5 – 4	> 4 Порушення пуринового обміну у людини, молібденовий токсикоз у тварин
Бор	897	< 3 – 6 Захворювання рослин, відмирання точки росту стебла та кореня; гниль сердечка буряків, побуріння капусти	6 – 30	> 30 Борні ентерити у тварин і людини, захворювання рослин
Стронцій	1269	Не встановлено	До 600	600 – 1000 Хондро- й остеодистрофія, рахіти, крихкість кісток у тварин
Йод	491	< 2 – 5 Ендемічний зоб, ендемія може посилюватись у разі незбалансування йоду з кобальтом, манганом та міддю	5-40	> 40 Можливе ослаблення синтезу

Агроекологічне групування земель

Земельні ресурси та сприятливі кліматичні умови України забезпечують високий потенціал виробництва продукції рослинництва і реалізуються через родючість ґрунтів, поліпшення їхніх функціональних властивостей. Проте в нашій державі особливо небезпечних масштабів набуло антропогенне спрощення агроландшафтів, погіршення якості, корисних властивостей і біосферних функцій ґрунтів, що наближає їх до критичної межі як базової основи сталого розвитку агроекосистем. З урахуванням цього в Україні розпочинається практична реалізація концепції ґрунтозахисного землеробства з контурно-меліоративною організацією території як основи створення ерозійностійких агроландшафтів. Для цього орні землі залежно від стрімкості схилів поділяють на три еколого-технологічні групи, проводять організацію полів і робочих ділянок із криволінійними межами, що збігаються з відповідними геодезичними горизонталями та так званими геохімічними бар'єрами і ґрунтовими катенами.

Перша еколого-технологічна група — це ділянки ґрунтів зі стрімкістю схилів 0 – 3°. Їх використовують в інтенсивних польових сівозмінах, в яких зосереджуються всі просапні культури.

Друга еколого-технологічна група включає ділянки зі стрімкістю схилів 3 – 7°. Тут організовують ґрунтозахисні сівозміни з просапними культурами, в яких зростає частка багаторічних трав.

Третя еколого-технологічна група включає орні землі зі стрімкістю схилів понад 7°. Їх залужують багаторічними травами і виводять з використання як ріллі. Ці підходи є одним зі стратегічних напрямів екологізації сучасного землеробства.

4.7. Ґрунтовий біотичний комплекс

Без величезного і складного світу істот, які живуть у ґрунті, не може бути і самого ґрунту, а без ґрунтового покриву — не змогла б розвиватись біосфера Землі як єдина цілісна планетарна оболонка.

Ґрунтовий покрив нашої планети, з одного боку, забезпечує життя рослин, функціонування агроекосистем і агроценозів, є фабрикою переробки їхніх решток. З іншого боку, жива речовина, як підкреслював В.І. Вернадський, сама створює ґрунт.

Понад 100 років тому В.В. Докучаєв розробив основи вчення про ґрунт як про природне тіло, що є функцією низки чинників: ґрунтотворної породи, часу, клімату, рельєфу, а також тварин і рослин.

Найважливіші групи організмів

Вся сукупність живих організмів ґрунту постійно змінюється в часі і просторі, проте основний склад кожного ґрунту має особливі, притаманні певному типу ґрунтотворення, характерні ознаки й особливості функціонування.

Жива речовина ґрунту — це сукупність живих організмів у ньому, що характеризується масою, хімічним складом та певною енергією. Рослинна складова живої речовини ґрунту утворюється в процесі фотосинтезу.

Енергетична роль тварин порівняно з рослинами мала. Проте саме тваринна складова «працює» проти температурного градієнта, що стабілізує енергетичний потенціал ґрунту як базову складову агроекосистем.

Наведемо функціональну схему ґрунтового біотичного комплексу за його екологічним значенням в біологічному колообігу речовин — від продуцентів до редуцентів:

Таксономічна група	***Функціональна роль***
Рослини	Основні первинні продуценти, з яких розпочинається біологічний колообіг на нашій планеті. Біологічний колообіг різний для різних ґрунтово-кліматичних зон і класифікується за комплексом показників: біомаса рослин, опади, підстилка, кількість закріплених у біомасі елементів. Кореневі системи рослин впливають на фізичні і хімічні властивості ґрунту та його біологічну активність
Ґрунтові водорості	Екологічна група водоростей, життя яких повністю пов'язане з ґрунтом. Більшість із них — мікроорганізми, річна продукція яких становить 50 – 150 кг/га. Вони впливають на кисневий режим, накопичення азоту і структуру ґрунту. Можуть бути біоіндикаторами процесів, що відбуваються в ґрунті, газового і сольового режимів, забрудненості ґрунтів. Водорості класифікують на: зелені, жовтозелені, діатомові, синьозелені. Останні — єдині організми, фотосинтез у яких йде з виділенням кисню
Ґрунтові тварини	Істотно впливають на хімізм ґрунту, утворення гумусу, структурні властивості, біологічну активність та родючість ґрунту загалом
Ссавці	Утворюють мегафауну ґрунтів: гризуни, комахоїдні, зайцеподібні. Здійснюють механічний вплив на ґрунт, а отже, на ріст і розвиток рослин, беруть участь у мінералізації й гуміфікації органічної речовини
Ґрунтові гриби	Найбільша екологічна група. Бере участь у мінералізації органічних решток рослин і тварин та в утворенні гумусу. Гриби — аеробні організми. В біогеоценозах основна маса грибів зосереджена в ґрунті, де їх міцелій сягає загальної довжини 700 – 1000 м в 1 г ґрунту. Розщеплюють будь-які органічні субстрати

Лишайники	Особлива група симбіотичних організмів, які складаються з двох компонентів — грибного і водоростевого. Найважливіша піонерна роль лишайників — заселення безживних субстратів. Руйнуючи їх, вони беруть участь у первинному ґрунтотворному процесі
Бактерії	Мікроорганізми з примітивною організацією ядерних структур. В екосистемах ґрунту вони разом із грибами виконують функцію редуцентів. Агрономічно найбільш значущими є азотобактерії (Azotobacter) та бульбочкові бактерії (Rhizobium). У ґрунті останні живуть у вільному стані. Здатні оселятися на коренях бобових рослин і там розмножуватись. На цій стадії вони фіксують азот
Віруси і фаги	Особлива група надзвичайно дрібних паразитів, у тім числі ґрунтових організмів — тварин, водоростей, грибів, бактерій. Вони не мають клітинної будови

Загалом організми, які населяють ґрунт, різноманітні за розміром, трофічними зв'язками, таксономічним положенням. Біологічна активність «живого моноліту» ґрунту досить строката.

Біологічна активність — це максимальний вияв організмом важливих біологічних функцій у межах свого діапазону толерантності до основних лімітуючих чинників середовища.

Жива речовина ґрунту, 70 % маси якої становлять дощові черв'яки, не тільки формує його генезис, рівень родючості, а й опосередковано впливає на технологічні вирішення, наприклад щодо мінімального обробітку ґрунту.

Показник може бути нормативним параметром біологічного моніторингу ґрунту.

Еколого-технологічна оцінка вермибіоти ґрунту

За нормальних умов вермибіота ґрунту, яку в першому наближенні ідентифікують із дощовими черв'яками, становить близько 80 % живої речовини ґрунту за масою.

З часів Ч. Дарвіна встановлено і ніким не спростовано, що дощові черв'яки є універсальним творцем та індикатором родючості і здоров'я ґрунту.

Як в утворенні ґрунту, так і в формуванні його структури (зернистості, дрібних грудок, пористості, тріщин і т. д.) бере участь низка різноманітних фіто- і зоогеографічних чинників, у тім числі діяльність людини. Серед них життєдіяльність дощових черв'яків посідає чільне місце. Багато відомих авторитетних учених на чолі з Ч. Дарвіном ставили діяльність дощових черв'яків далеко попереду інших ґрунтотворних чинників, які здебільшого залишаються поза увагою теорії і практики сучасного землеробства.

У чому ж полягає дія дощових черв'яків на ґрунт? Вони здатні меліорувати й оструктурювати значні обсяги робочого горизонту ґрун-

ту. Наприклад, влітку популяція черв'яків зі 100 особин на 1 м^2 прокладає в ґрунті 1 км ходів, що надає йому пухкості, водо- і повітропроникності. Енергомеханічний еквівалент такої високоекологічної оранки практично дорівнює витратам на весь комплекс робіт, пов'язаних із підготовкою й обробітком ґрунту сільськогосподарського поля.

До того ж черв'як пропускає через свій травний канал за добу таку масу ґрунту, що приблизно дорівнює масі його тіла. Тобто за 200 теплих днів на площі 1 га маса копролітів досягає 200 т. *Копроліт* — це речовина вищої якості, ніж вихідний ґрунт. Запаси гумусу і поживних речовин у копролітах значно більші, кислотність практично близька до нейтральної, водостійкість копролітних друз і окремих елементів у 5 – 10 разів вища, тому помітно знижується енергетичний стік сільськогосподарського поля.

Отже, ґрунт стає стабільнішою термодинамічною системою.

Найбільшу індикаційно-показову діяльність дощові черв'яки виявляють навесні після розтавання ґрунту. Це засвідчують численні викиди на поверхню ґрунту копролітів у вигляді друз (табл. 4.6).

Таблиця 4.6. **Агрофізична оцінка копролітів**
(за А.Т. Кардашовим, травень, 1992)

Параметр	Ґрунт, місце збору копролітів	
	Чорнозем опідзолений, с. Райгородок	Дерново-підзолистий ґрунт, с. Вереси
Повітряно-суха маса друзи, г	2,5 – 3,5	0,8 – 2,1
Кількість кульок, шт.	12 – 19	6 – 11
Діаметр кульок, мм	15 – 45	2,5 – 3,5
Період повної деструкції у воді, год	0,8 (окремі — 6)	0,1 – 0,2

Період повної деструкції ідентифікованої за масою грудочки вихідного ґрунту для чорнозему опідзоленого становить 5 – 7 хв. Грудочка дерново-підзолистого ґрунту розпадається відразу ж після повного занурення у воду.

Численними дослідженнями встановлено, що протягом багатьох років практично весь орний шар ґрунту проходить через травний канал дощових черв'яків.

Як писав Дарвін, «не можна не дивуватися, коли подумаєш, що весь рослинний шар (ґрунт) уже пройшов крізь тіло дощових черв'яків і через декілька років знову пройде крізь них. Сумнівно, щоб знайшлись інші тварини, які в історії земної кори зайняли б таке значне місце, як ці низькоорганізовані істоти».

Найважливіші серед різноманітних геологічних і біологічних наслідків діяльності дощових черв'яків наведено нижче.

1. Подрібнюючи і збираючи з поверхні ґрунту в свої ходи листки та інші рослинні і тваринні рештки, черв'яки прискорюють їх розкладання в безпосередній близькості до коренів рослин.

2. Пропускаючи крізь своє тіло мінеральні й органічні часточки, черв'яки перетирають і подрібнюють їх у своїх м'язових шлунках, тому матеріал екскрементів доступніший хімічному і біологічному вивітрюванню.

3. Викинута з екскрементами черв'яків земля збагачена вапном, сполуками азоту і фосфору; вапно виділяється особливими залозами шлунка і просочує екскременти. Скупчення карбонату кальцію виявляють в екскрементах після півторамісячної переробки черв'яками безвапняного ґрунту. Склеювання часточок ґрунту в агрегати і збагачення їх вапном поліпшує структуру ґрунту.

4. Розпушуючи і перемішуючи ґрунт, черв'яки виконують роль біологічного плуга.

5. Ходи черв'яків сприяють швидкому проникненню в ґрунт вологи, повітря, що разом із хімічною переробкою ґрунту інтенсифікує бактеріальне життя, підвищує родючість ґрунту.

6. Ходи черв'яків полегшують проникнення коренів рослин у глибокі шари ґрунту.

На жаль, в умовах жорсткого техногенезу ґрунту, пестицидних навантажень на окремих ділянках, зокрема на хмільниках, потенціал вермибіоти ґрунту знизився до критичних значень.

Дослідження показали, що дощові черв'яки не тільки «біологічний плуг», а й технологічна лінія з переробки органічних добрив і рослинних решток на біогумус. Внаслідок цього утворення гумусу з 1 т внесених органічних добрив може значно перевищувати прийнятий норматив (35 – 45 кг); у свою чергу, зниження кількості вермибіоти ґрунту істотно зменшує утворення гумусу.

У зв'язку з цим оцінка діяльності дощових черв'яків потребує теоретичних, технологічних і нормативних уточнень при виготовленні і використанні органічних добрив, у тім числі на рівні складання системи удобрення сільськогосподарських культур, при розрахунках доз добрив на запланований урожай, розробці заходів щодо бездефіцитного балансу гумусу в ґрунті.

Ефективність дії дощових черв'яків слід обов'язково враховувати при впровадженні мінімального обробітку ґрунту.

За результатами вермиобстежень ґрунту розроблено тимчасову градацію з групування ґрунтів хмільників за ступенем їх заселення дощовими черв'яками (табл. 4.7).

В умовах сівозміни ці показники в 1,5 – 2,0 рази вищі.

Таблиця 4.7. **Групування ґрунтів хмільників за ступенем заселення їх вермибіотою,** млн шт/га (А.Т. Кардашов, 1992)

Ступінь заселення	Ґрунт	
	дерново-підзолистий	чорнозем опідзолений
Низький	<0,5	< 1,0
Середній	0,5 – 1,0	1,0 – 1,5
Високий	>1,0	>1,5

Дуже важливо правильно вибрати час вермиобстеження ґрунту. Виходячи з власного досвіду, вважаємо за найкраще проводити цю роботу у середині квітня. Багато дослідників, на жаль, не дотримуються параметра часу, тому отримувані результати часто є незіставними.

Розглядаючи питання родючості ґрунту, як правило, ми спираємось на динаміку поживних речовин, гумусу, кислотність тощо і при цьому практично ігноруємо базову складову ґрунту — його живий моноліт. Проте треба ще раз підкреслити, що гірська порода, рухляк стає ґрунтом із вираженим ґрунтотворним процесом тільки після заселення вихідного матеріалу живою речовиною, живою плазмою ґрунту.

Популяція дощових черв'яків краще розвивається за беззмінного вирощування злаків. Часте й інтенсивне культивування просапних культур призводить до зменшення їх кількості. В умовах сівби без оранки кількість великих особин черв'яків у 3 – 3,5 раза більша, ніж після оранки. Позитивно впливає на ґрунтову фауну неглибоке культивування ґрунту в поєднанні з вирощуванням післяжнивних культур. Небезпечним для популяції дощових черв'яків є випалювання стерні. На щільність їх популяції значно впливають різні агротехнічні заходи — внесення органічних і мінеральних добрив, зрошення, обробіток ґрунту. Для нормальної життєдіяльності дощових черв'яків потрібно підтримувати pH ґрунту на рівні 7 – 8.

Отже, відновлення потенціалу вермибіоти ґрунту є кроком вперед у нашій еволюції до екологічно збалансованого землеробства.

Взаємовідносини у ґрунтовому біотичному комплексі

Взаємовідносини, які виявляються між складовими біотичного комплексу, ґрунтуються на трофічному, або метаболічному, характері зв'язків (табл. 4.8).

Внаслідок виявлення взаємовідносин різного типу у ґрунтовому біотичному комплексі формуються особливі функціональні одиниці — консорції.

Безпосередні трофічні зв'язки — далеко не єдиний тип взаємовідносин біоти ґрунту. Часто ці зв'язки мають складний комплексний характер. Вочевидь, жодні ґрунтові тварини не переробляють рослинний матеріал у чистому вигляді, так чи інакше в цьому про-

цесі беруть участь і мікроорганізми. Тісні асоціації сапрофітних мікроорганізмів у безхребетних, які живуть у ґрунті і підстилках, дістали назву *зоомікробних комплексів*. Функція тварин у цих комплексах зводиться до механічного подрібнення рослинного опаду, а також до створення сприятливих умов для мікроорганізмів у кишечнику й екскрементах. В умовах сучасного техногенезу практично значущими стали так звані біологічні меліорації.

Таблиця 4.8. **Типи взаємовідносин у ґрунтовому біотичному комплексі** (за Ю. Одумом, 1986)

Тип взаємовідносин	Вид популяції		Загальний характер
	1	2	
Нейтралізм	0	0	Популяції не впливають одна на одну
Конкуренція	–	–	Взаємне пригноблення
Аменсалізм	–	0	Популяція 2 пригноблює популяцію 1
Паразитизм	+	–	Популяція 1 паразитує на популяції 2; за розміром 1 < 2
Хижацтво	+	–	Особини хижаків (1) зазвичай більші за особин жертви (2)
Коменсалізм	+	0	Вигоду від об'єднання отримує тільки популяція 1
Протокооперація	+	+	Взаємодія корисна для обох видів, але не обов'язкова
Муталізм	+	+	Взаємодія корисна для обох видів і є обов'язковою

Біологічна меліорація — це поліпшення умов місця вирощування сільськогосподарських культур, підвищення родючості і продуктивності земель біологічними заходами, наприклад внесенням біодобрив.

Непрямим показником біологічної активності ґрунту є виділення CO_2 (табл. 4.9).

Таблиця 4.9. **Виділення CO_2 з лісового ґрунту,** кг/га/год (Ф.В. Вальвач, 1973, П.П. Надточій, 1997)

Місяць	Ґрунт, місце дослідження			
	Світло-сірий с. Ясенева діброва	Чорнозем с. Суха діброва Одеська обл.	Бурозем с. Суха діброва Одеська обл.	Лучний чорнозем Заповідний степ Сумська обл.
Травень	6,4	6,8	4,9	6,2
Червень	8,6	6,2	4,3	7,1
Липень	9,6	5,8	3,7	7,9
Серпень	6,3	4,2	3,2	6,2
Вересень	3,0	4,1	2,8	2,6
Жовтень	1,8	2,3	2,5	1,4

Сучасний період розвитку технологічного напряму інтенсифікації біотичного блоку ґрунту узгоджується з теоретичними положеннями і практичними діями загальної стратегії екологізації землеробства як передумови стійкого розвитку сільськогосподарського виробництва.

Запитання для самоконтролю

1. У чому виявляється поліфункціональна роль ґрунту в біосфері? **2.** Схарактеризуйте основні чинники ґрунтотворення. **3.** У чому полягає агроекологічна роль гумусу? **4.** Дайте комплексну оцінку буферності ґрунту. **5.** Висвітліть основний зміст еколого-агрохімічної оцінки ґрунту. **6.** Дайте еколого-технологічну характеристику ґрунтового біотичного комплексу.





Розділ 5

КЛІМАТ АГРОЕКОСИСТЕМИ

Поняття про клімат і погоду. *Погодою* називають фізичний стан атмосфери в певний момент або інтервал часу, який характеризується сукупністю метеорологічних елементів (величин) і атмосферних явищ.

Метеорологічні величини — це кількісні характеристики стану атмосфери (температура, вологість повітря, швидкість і напрямок вітру, кількість і товщина хмар, інтенсивність опадів, потік радіації і тепла та ін.).

Атмосферне явище є фізичним процесом, який супроводжується різкою (якісною) зміною стану атмосфери (туман, ожеледь, роса, опади, пилова буря, хуртовина тощо).

Клімат — це багаторічний режим погоди, характерний для даної місцевості, зумовлений кількістю сонячної радіації, її перетвореннями у верхньому шарі земної поверхні та пов'язаних із ними циркуляцій атмосфери й океанів. Поєднання фізичних характеристик повітряного або водного середовища, істотних для організмів, які його населяють, називають *кліматопом*.

Значення клімату і погоди для сільського господарства. Ріст, розвиток і урожайність сільськогосподарських культур істотно залежать від кількості сонячного світла, тепла і вологи, зміни погодних умов, особливостей клімату. Розміщення галузей сільського господарства, зон вирощування сільськогосподарських культур, спеціалізація господарств, системи машин і знарядь, які використовують у сільському господарстві, строки проведення польових робіт, технологічні прийоми великою мірою визначаються кліматом і погодою.

Хоча науково-технічний прогрес і зменшує залежність людини від стихійних природних (гідрометеорологічних) явищ (приморозків, сильних морозів, посух, суховіїв, пилових бур, граду, злив, льодяної кірки тощо), він не гарантує отримання значного урожаю за будь-яких умов клімату і погоди. З інтенсифікацією виробництва залежність сільського господарства від клімату і погоди посилюється, оскільки для синтезу великої кількості органічної речовини рослинам потрібні більші кількості світла, тепла, вологи, елементів живлення.

5.1. Основи теорії клімату

Питаннями кліматоутворення, типів клімату, чинників його формування, закономірностей географічного поширення і зміни в часі, антропогенних впливів на клімат займається наука *кліматологія*, однією з прикладних галузей (розділів) якої є *агрокліматологія*, що вивчає клімат як чинник впливу на сільськогосподарське виробництво. Основними завданнями агрокліматології є обґрунтування агротехнічних заходів для територій з різними кліматичними умовами на основі дослідження залежностей росту, розвитку та урожайності сільськогосподарських культур від кліматичних показників, їх розподілу залежно від рельєфу, несприятливих явищ клімату.

Кліматотворні чинники. Сучасна теорія клімату ґрунтується на концепції *кліматичної системи*, яка складається з гідросфери, літосфери, кріосфери і біосфери. Ланки кліматичної системи взаємодіють між собою. Чинники, які визначають взаємодію між цими ланками, а також зовнішні впливи на кліматичну систему, називають *кліматотворними*. Їх поділяють на зовнішні і внутрішні.

Зовнішні чинники визначають енергетичні впливи на кліматичну систему ззовні:

1) астрономічні (сяяння Сонця, положення орбіти Землі в Сонячній системі, кут нахилу її осі до площини орбіти, швидкість обертання навколо осі), від яких залежить розподіл сонячної енергії на верхній межі Землі, гравітаційний вплив Сонця, планет Сонячної системи, Місяця;

2) геофізичні (розмір і маса Землі, гравітаційне і магнітне поля Землі, внутрішнє тепло тощо).

Внутрішні чинники характеризують властивості самої кліматичної системи:

1) склад атмосфери (постійні компоненти та змінні термодинамічно активні домішки), її маса;

2) льодовики;

3) рельєф поверхні;

4) маса і склад океану;

5) структура підстильної поверхні тощо.

Кліматична система. У сучасній теорії клімату спрощено як внутрішню кліматичну систему розглядають атмосферу. При цьому зовнішніми кліматотворними чинниками вважають характеристики, які визначають енергетичну взаємодію між атмосферою та іншими ланками кліматичної системи, особливості рельєфу земної поверхні, а внутрішніми — загальну циркуляцію атмосфери та вологообіг. Клімат формують фізичні (кліматотворні) процеси, які безперервно відбуваються в атмосфері і в активному шарі (приплив, перетворення і перенесення теплової, кінетичної та інших форм енергії, випаровування, конденсація, перенесення вологи тощо) і визначаються основними кліматотворними (кліматичними) чинниками — сонячною радіацією, газовим складом атмосфери, рельєфом, структурою підстильної поверхні, а також похідними від основних — вологістю повітря, атмосферними опадами, тиском і електричним полем, циркуляцією повітряних мас та ін.

О.І. Воєйков запропонував термін *активна поверхня*, що є межею між вільною атмосферою та об'єктами на земній поверхні. В межах активної поверхні відбуваються визначальні процеси: трансформація енергії (нагрівання поверхні внаслідок поглинання сонячної радіації, випромінювання тепла поверхнею та її охолодження), фазові переходи води.

Місцеві особливості клімату зумовлюються неоднорідністю будови активної поверхні, їх називають. *мікрокліматом*. У сучасному розумінні мікроклімат формується на ділянках рельєфу площею до 100 км^2 і перепадом висоти до 200 м. Його прояви залежать від *мезо-* та *макроклімату*, які належать до географічних одиниць площею відповідно до 10 000 і понад 10 000 км^2 і перепадом висот до 1000 і понад 1000 м. Розрізняють мікроклімат вершин, пагорбів, долин, схилів, річок, озер, населених пунктів та ін. Окремо виділяють *наноклімат*, характерний для мікропідвищень та мікрознижень (пагорбів, гребенів, борозен, западин) із перепадом висот, що вимірюється дециметрами або кількома метрами.

Фізичні явища, які відбуваються в межах рослинних сукупностей, характеризують поняттям *фітоклімат*; його вважають одним із видів мікроклімату.

5.2. Основи біокліматології

Агрокліматологія розвивається як галузь кліматології у тісному зв'язку з її іншою прикладною галуззю — *біокліматологією*.

Об'єкт і коротка історія розвитку. Біокліматологія вивчає чинники, які визначають поширення, функціонування та чисельність організмів у середовищі.

Біокліматологічні дослідження культурних рослин започаткував французький учений Р. Реомюр (1683 – 1757), який у своїй праці, присвяченій термометричним вимірюванням (1735), визначив, що сума денних температур, виміряних у тіні, стала для певних фенологічних періодів рослин. А. Кетле (1846) вперше запровадив поняття температурного порогу переходу організму в біологічно активний стан. А.Е. де Гаспарен (1844) запропонував термометричні дані виражати в калоріях, а не в градусах; він висловив припущення, що для проходження фази розвитку необхідна певна кількість тепла. Дж.В. Дрейпер (1844), Дж. Закс (1864) та В.Ф.П. Пфеффер (1871) визначили вплив світлових хвиль різної довжини на фотосинтез.

Теоретичною основою біокліматології є *принцип єдності організму* і *навколишнього середовища*, сформульований І.М. Сєченовим (1861), згідно з яким живий організм тісно зв'язаний зі своїм оточенням через процеси обміну матерією й енергією, і цей зв'язок двосторонній.

Основна схема життєдіяльності кожного організму зумовлена його генотипом, а умови навколишнього середовища є сигналами, від яких залежить спосіб використання генетичної інформації. Рослини, які не пройшли певні етапи розвитку, не можуть використати сприятливі погодні умови для наступних етапів, хоча за несприятливих погодних умов їх перехід до наступного етапу розвитку все ж відбувається. На кожному етапі розвитку рослин існують певні вимоги до погодних умов, які нерідко можуть значно різнитися.

Погодні умови впливають на формування врожаїв практично на всіх рівнях — молекулярному, субклітинному, органів, організмів, екологічному.

Зв'язки організмів з кліматом і погодою мають просторовочасовий характер. Часові зв'язки відбивають послідовність явищ і процесів. Вони незворотні й односпрямовані. Просторові зв'язки виражають географічний розподіл фізичних явищ.

Погода і клімат істотно впливають на напрям та інтенсивність екологічних процесів в екосистемі. Радіаційний, термічний, водний режими екосистеми визначають швидкість обміну речовин в організмах і тим самим характеризують швидкість колообігу речовин і енергії в екосистемі. Вони є основними чинниками екологічної рівноваги. Пристосування екосистем до кліматичних умов відбувається в ході їх розвитку — екологічної сукцесії біоценозів.

Основні кліматичні чинники середовища (світло, тепло, волога) здійснюють безпосередній і прямий вплив на рослини в основному через ґрунт протягом усього періоду життя і на всій території. *Другорядні кліматичні чинники* (вітер, хмарність, туман тощо) віді-

грають допоміжну роль, коригують дію основних чинників і впливають лише в окремі періоди і на невеликих територіях. Наприклад, вітер ослаблює згубну дію приморозків, хмарність зменшує охолодження ґрунту вночі.

Більшість кліматичних чинників діє на організми градієнтно, тобто інтенсивність чинника визначає екологічну реакцію організмів.

Основні терміни та визначення. *Агрометеорологічні чинники* — метеорологічні й гідрологічні величини, які визначають стан і продуктивність агроекосистем.

Агрометеорологічні умови — режим погоди, що визначається сукупністю метеорологічних і гідрологічних величин, які мають істотне значення для агроекосистеми і сільського господарства загалом (температура і вологість повітря, ґрунту, сонячна радіація, сніговий покрив, опади, вітер тощо; під час їх дослідження основну увагу приділяють виявленню часових закономірностей).

Агрокліматичні умови — багаторічний режим агрометеорологічних умов (можна розглядати і як агрокліматичні ресурси; під час їх вивчення увагу зосереджують на просторових закономірностях).

Агрокліматичні та агрометеорологічні показники — кількісно виражені просторово-часові зв'язки між агрокліматичними й агрометеорологічними чинниками і характеристиками росту, розвитку, стану, продуктивності, зимостійкості рослин (відображають як вимоги сільськогосподарських культур до клімату, так і реакцію їх на окремі кліматичні параметри чи їх комплекси; вони мають бути інтегральними, мати біологічний і фізичний зміст, бути відносно простими у застосуванні й забезпечувати можливість здійснення кількісних розрахунків на основі масових спостережень).

Розрізняють *основні*, *додаткові* і *регіональні* показники, їх поділяють на групи, які характеризують: 1) тепло- і світлозабезпеченість; 2) вологозабезпеченість; 3) умови перезимівлі; 4) бонітет, або загальну оцінку комплексу всіх умов.

Наприклад, агрокліматичні показники *забезпеченості рослин теплом* — суми кліматичних і біологічних температур; *забезпеченості вологою* — суми опадів і запаси продуктивної вологи в ґрунті, показники зволоження. Для оцінки умов перезимівлі рослин застосовують абсолютний мінімум температур повітря і ґрунту, середній з абсолютних мінімумів температури повітря і ґрунту, суми мінусових температур нижче 0, –5, –10 і –15 °С. Додатковими показниками є середні, оптимальні і критичні для рослин температури, тривалість безприморозкового періоду та періодів з різними температурами і вологостями повітря і ґрунту, висота снігового покриву, глибина промерзання ґрунту тощо.

5.3. Кліматичні чинники

Сонячна радіація

Спектральний склад сонячної радіації. Сонячне світло є практично єдиним джерелом енергії для Землі.

Спектр випромінювання Сонця (сонячної радіації) поділяється на такі частини:

1) *γ-випромінювання* — довжина хвиль $\lambda < 10^{-5}$ мкм;

2) *рентгенівське випромінювання* —$10^{-5} < \lambda < 10^{-2}$ мкм;

3) *ультрафіолетове (УФ) випромінювання* — $10^{-2} < \lambda < 0{,}39$ мкм, в тім числі ближнє — $0{,}29 < \lambda < 0{,}39$ мкм;

4) *видиме випромінювання (світло)* — $0{,}39 < \lambda < 0{,}76$ мкм;

5) *інфрачервоне (ІЧ) випромінювання* — $0{,}76 < \lambda < 3000$ мкм, в тім числі ближнє — $0{,}76 < \lambda < 4$ мкм;

6) *радіохвильове випромінювання* — $\lambda > 3000$ мкм.

Для енергетичної характеристики сонячного випромінювання застосовують такі показники:

- *потік випромінювання* — енергія, яка переноситься за одиницю часу (виражають у ватах; 1 Вт = 1 Дж/с);
- *щільність випромінювання* — потік випромінювання, що падає на одиницю площі (виражають у ватах на квадратний метр, Вт/м^2);
- *кількість випромінювання* — енергія, яка надходить на одиницю опромінюваної поверхні протягом певного часу (виражають у ват-секундах на квадратний метр — Вт·с/м^2 або Дж/м^2).

За прийнятою в Міжнародній системі одиниць (СІ) термінологією ближнє УФ, видиме та ІЧ-випромінювання називають *оптичним*.

Понад 99 % енергії Сонця припадає на частину спектра з довжиною хвилі 0,1 – 4 мкм, у зв'язку з чим сонячну радіацію називають *короткохвильовою*, на відміну від *довгохвильової радіації* Землі та атмосфери, понад 99 % якої відповідає інтервалу 4 – 120 мкм. Частка ультрафіолетового спектра (0,10 – 0,39 мкм) в середньому становить 8 %, видимого (0,39 – 0,76 мкм) — 56 %, інфрачервоного (0,76 – 4 мкм) — 36 % енергії короткохвильової радіації. Максимальна інтенсивність випромінювання припадає на хвилі завдовжки 0,47 мкм.

У спектрі короткохвильової радіації виділяють діапазон, що майже збігається з ділянкою видимого випромінювання, яке поглинається пігментами хлоропластів (0,38 – 0,71 мкм); воно отримало назву *фотосинтетично активна радіація* (ФАР). Найінтенсивніше поглинаються синьо-фіолетові та оранжево-червоні промені з довжиною хвиль відповідно 0,40 – 0,48 та 0,65 – 0,68 мкм, найменше — жовто-зелені (0,50 – 0,58 мкм) та дальні червоні (понад 0,69 мкм).

Екологічна роль сонячної радіації. *Іонізуюче випромінювання (γ-, рентгенівське)* характеризується мутагенною, патогенною дією, але в енергетичному балансі Землі його частка невелика,

оскільки випромінювання з довжиною хвилі менш як 0,28 мкм поглинає озон атмосфери, і воно не досягає земної поверхні.

Оптичне випромінювання чинить на живі організми *енергетичну* (насамперед теплову), *біосинтетичну* (фотосинтез, синтез хлорофілу, вітаміну D), *морфологічну* (визначає величину фітоелементів — стебел, листків), *інформативну* (фотоперіодизм, фототаксис, морфогенез) і *каталітичну* (регулювання активності ферментів) дію.

Оптичне випромінювання впливає на:

- інтенсивність синтезу органічної речовини, рівень обміну речовин;
- динаміку росту рослин, урожайність та якість урожаю;
- швидкість розвитку рослин, тривалість міжфазових періодів і вегетації загалом;
- архітектоніку рослинного покриву (просторове розміщення фітоелементів);
- тепловий та водний режими агроекосистеми.

Для багатьох рослин *світло*, яке досягає вологого насіння, є обов'язковим чинником, що забезпечує його проростання. Насіння інших рослин здатне проростати без впливу світлових стимулів, однак за наявності видимого випромінювання процес проростання відбувається краще, наприклад у моркви. Встановлено, що зволожене, опромінене, а потім висушене насіння зберігає ефект, викликаний світловим подразненням, і проростає після висівання у ґрунт. Для деяких видів рослин світло є чинником, який гальмує проростання насіння, наприклад для багатьох гарбузових.

Видиме випромінювання крім енергетичних показників характеризують і світловими, які дають змогу оцінити викликаний ефект:

- світловий потік — характеризує світлове відчуття (вимірюють у люменах, лм);
- сила світла — відповідає просторовій щільності світлового потоку (вимірюють у канделах, кд);
- освітленість — характеризує поверхневу щільність світлового потоку (вимірюють у люксах, 1 лк = 1 лм/м^2).

Вплив *видимого сонячного випромінювання* на рослини оцінюють за *щільністю випромінювання, спектральним складом, тривалістю освітлення.*

За реакцією на інтенсивність освітлення розрізняють *світлолюбні*, *тіневитривалі* та *проміжні* рослини. До перших належать наприклад соняшник, кукурудза, цукрові буряки, рис, бавовник, соя, томати, огірки, баклажани, перець, баштанні культури, до других — бобові трави, горох, цвітна капуста, петрушка. Гречка і більшість зернових добре ростуть і розвиваються як за недостатнього, так і за надмірного освітлення.

Залежність інтенсивності фотосинтезу від щільності світла (освітленості) виражають *світловими кривими* (рис. 5.1), на яких виділяють:

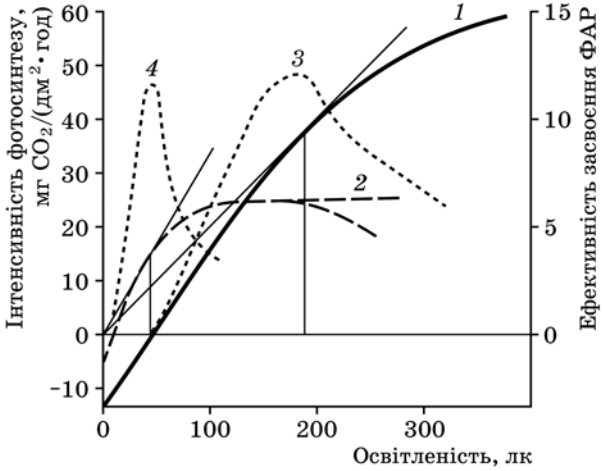


Рис. 5.1. Світлові криві (*1*, *2*) та ККД (*3*, *4*) фотосинтезу світлолюбних (*1*, *3*) та тіневитривалих (*2*, *4*) рослин
(за О.М. Шульгіним, 1978)

• *компенсаційну точку* (світловий компенсаційний пункт), в якій фотосинтез і розщеплення органічної речовини зрівноважені (протягом життя рослини змінюється, в умовах України відповідає щільності випромінювання 20 – 35 Вт/м^2);

• *зону оптимального освітлення*, або *радіації пристосування* (інтенсивність фотосинтезу в цій зоні відповідає темпам накопичення біомаси та характеризує світлолюбність рослин);

• *точку світлового насичення фотосинтезу*, тобто його максимальної інтенсивності за даних умов (з цієї точки на світловій кривій розпочинається рівень «плато», щільність випромінювання 200 – 250 Вт/м^2).

За максимальною інтенсивністю фотосинтезу в умовах світлового насичення ($F_д$) сільськогосподарські культури згідно з *моделлю агроекологічних зон ФАО* поділяють на чотири групи:

1) культури C_3 помірного клімату (пшениця, ячмінь, картопля, цукрові буряки, бобові); $F_д$ = 27 кг CO_2/(га·год) за температури 15 – 20 °С;

2) культури C_3 теплого клімату (рис, соя, бавовник); $F_д$ = = 50 кг CO_2/(га·год) за температури 25 – 30 °С;

3) культури C_4 (кукурудза, просо, сорго, цукрова тростина); $F_д$ = 87 кг CO_2/(га·год) за температури 25 – 35 °С;

4) окремі сорти кукурудзи і сорго, пристосовані до нижчих температур; $F_д$ = 87 кг CO_2/(га·год) за температури 20 – 25 °С.

Залежність інтенсивності фотосинтезу у рослин від освітленості наведено на рис. 5.2, *а*.

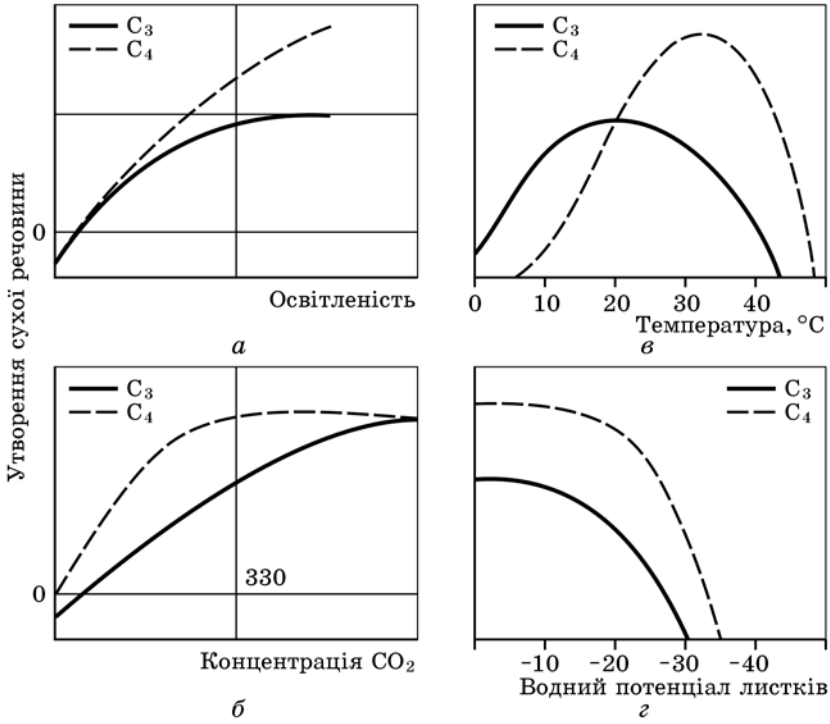


Рис. 5.2. Залежність інтенсивності фотосинтезу (накопичення сухої речовини) у рослин типу C_3 і C_4 від освітленості (*а*), концентрації CO_2 (*б*), температури (*в*) і водного потенціалу листків (*г*) (за Зауглером, 1982)

У багатьох рослин через нестачу світла затримується цвітіння і тим самим гальмується процес розмноження.

За низької освітленості утворюється більше вузлів кущіння, але для подальшого їх розвитку потрібне достатнє освітлення, інакше число продуктивних пагонів зернових культур зменшується, вони тоншають.

Якщо в світловому потоці переважає короткохвильова радіація, зменшуються висота рослин, розмір листків та довжина міжвузлів, утворюється більше амінокислот і білків.

Збільшення надходження прямої сонячної радіації сприяє підвищенню вмісту цукру в буряках, білка в зерні, олії в насінні соняшнику, поліпшенню засвоєння фосфору і калію, глибшому закладанню вузла кущіння озимих зернових і, як наслідок, підвищенню їх зимостійкості, сприятливо позначається на закладанні колосків. У зв'язку з пристосованістю рослин до орієнтації листків та суцвіть за сонцем (геліотропізм) для їх росту і розвитку важливий вплив прямої сонячної радіації.

Зміна освітленості протягом доби впливає на активність більшості тварин. Розрізняють три типи добової активності: денну, нічну та цілодобову. Нестача сонячної радіації пригнічує сільськогосподарських тварин, які виявляють денну активність, а її надлишок призводить до перегрівання організму.

Реакція тварин на *напрямок освітлення* може виявлятися у зміні їх положення відносно джерела світла *(фототропізм)* або напрямку руху *(фототаксис)*. Більшість дорослих комах виявляють позитивний фототаксис, негативний характерний для тварин, які живуть у темряві, наприклад для дощових черв'яків. Деякі комахи мають компасні реакції, тобто здатні рухатися під певним кутом до сонячних променів, наприклад бджоли.

Реакцію рослин на *тривалість освітлення* називають *фотоперіодизмом*.

Для видів рослин, які виявляють фотоперіодичні реакції, є специфічна (критична) тривалість дня, як правило, між 12 і 14 годинами.

Рослини довгого дня переходять від вегетативного етапу розвитку до генеративного, тобто зацвітають, якщо до цього моменту вони розвиваються протягом певного числа днів тривалістю понад 14 – 17 год. До них належить більшість рослин помірної смуги: пшениця, жито, ячмінь, картопля, редис, салат тощо. *Рослини короткого дня*, навпаки, нормально розвиваються за тривалості світлового дня 8 – 12 год; це рослини південних широт: просо, соя, рис, кукурудза, бавовник, огірки, баклажани та ін. Деякі рослини (гречка, бобові тощо) не реагують на тривалість світлового дня.

Характер фотоперіодичної залежності у рослин приблизно можна оцінити на основі даних про час цвітіння. Рослини, які цвітуть навесні і наприкінці літа, зазвичай є рослинами короткого дня, а рослини, які цвітуть влітку, — довгого.

Рослини довгого дня швидше розвиваються при переважанні в світловому потоці червоних променів, короткого дня — синьофіолетових. У північних широтах навесні і восени характерне переважання в світловому спектрі червоних променів, протилежне явище спостерігається в південних широтах і влітку.

Рослини, які ростуть в екваторіальній зоні, як правило не виявляють фотоперіодичних реакцій. Північні рослини, що розвиваються у смузі широт вище за 60°, зазвичай належать до рослин довгого дня або не мають розвинених фотоперіодичних властивостей.

Утримання рослин короткого дня в умовах довгого світлового дня призводить до гігантизму вегетативних частин, затримання розвитку органів розмноження. Наприклад, у цибулі і буряків збільшуються запасаючі органи, тоді як картопля, яка належить до рослин довгого дня, дає найбільші бульби восени, коли тривалість дня помітно менша за мінімальну для її надземних частин. У рослин довгого дня, які розвиваються в умовах короткого світлового дня, іноді спостерігається вкорочення міжвузлів і формування приземних розеток листків.

Оскільки розвиток органів розмноження негативно корелює з розвитком вегетативних органів, це практично використовують при вирощуванні рослин. Відомо, що чинники, які гальмують розвиток рослин, сприяють їх росту, тому при скороченні тривалості дня у зернових довгого дня посилюється кущіння. Підготовка рослин як довгого, так і короткого дня до перезимівлі успішно відбувається при скороченні тривалості дня. Навесні збільшення тривалості дня для рослин, яким властиві фотоперіодичні реакції, є сигналом для пробудження бруньок. Ранні строки висівання ярого ячменю забезпечують краще кущіння в умовах короткого дня.

Тваринні організми також можуть виявляти фотоперіодичні реакції. Тривалість розвитку деяких комах за подовження світлового дня збільшується (наприклад, в озимої совки), а інших — зменшується. Зміною тривалості освітлення можна регулювати період діапаузи (період відпочинку): у комах довгого дня збільшенням тривалості освітлення досягають скорочення діапаузи, у комах короткого дня — подовження або перехід до неї.

Інфрачервоні (ІЧ) промені сприяють посиленню синтезу органічної речовини рослинами. Під їх впливом рослини набувають компактнішої будови. Велике екологічне значення ІЧ-променів у зв'язку з їх тепловим впливом на організми.

Ультрафіолетові (УФ) промені мають високу проникну здатність. Під їх впливом у рослинних і тваринних організмах синтезується вітамін D. Ближнє ультрафіолетове випромінювання майже не чинить негативного впливу на зелені рослини, оскільки тканини їхніх зовнішніх покривів адаптуються до нього в процесі розвитку, а в помірних дозах воно корисне і сприяє нормальному обміну речовин і росту рослин. УФ-випромінювання з довжиною хвилі 0,29 – 0,32 мкм за тривалої експозиції (понад 10 год) шкідливе для рослин, особливо в умовах слабкої освітленості, а менш як 0,29 мкм — згубне. Дводольні рослини чутливіші до УФ-випромінювання, ніж однодольні.

Певна кількість УФ-радіації необхідна великим тваринам для синтезу вітаміну D, надлишкове опромінення може спричинити опіки і подразнення шкіри.

Нижчі організми (гриби, бактерії, нематоди тощо) під впливом УФ-випромінювання гинуть за досить короткий час (бактерії — за 7 хв). Летальна дія цього випромінювання посилюється за наявності кисню, з підвищенням температури і збільшенням кислотності субстрату. Це використовують на практиці для знезараження сільськогосподарської продукції і сховищ для її зберігання, приміщень медичних закладів, питної води, лікування мікозів у тварин і людей.

Тепло

Джерела тепла для організмів. Організми постійно знаходяться під впливом теплових явищ навколишнього середовища. Лише деякі види не залежать від цього чинника. Можна виділити чотири джерела енергії, які впливають на температурний стан організму.

1. Основне джерело тепла — тепло ґрунту, води або повітря.

2. Для організмів на поверхні землі додатковим джерелом тепла є пряме сонячне випромінювання, особливо інфрачервоне і видиме. Найбільше воно впливає на листки рослин, тепловий баланс яких визначається поєднанням фізіологічних чинників та умов навколишнього середовища. В сонячні дні температура листків вища, ніж температура повітря, вночі — нижча; за хмарної погоди температури листків і повітря різняться неістотно. Особливе значення у регулюванні температури листків має транспірація, оскільки випаровування води пов'язане зі значними витратами тепла. Багато тварин використовують сонячне випромінювання для підвищення температури тіла.

3. Джерелом тепла можуть бути органічні рештки, внаслідок мікробної ферментації яких виділяється тепло. Це дає змогу виживати організмам з підвищеними потребами в теплі під час морозів.

4. Постійним джерелом тепла для організмів є енергія, що вивільняється в процесі обміну речовин (дисиміляції). Організми, температура тіла яких визначається теплом дисиміляції, називають *ендотермами* (гомойотерми); вони здатні підтримувати сталу температуру свого тіла; організми, температура тіла яких залежить від температури навколишнього середовища, називають *екзотермами* (пойкілотерми). До числа перших належать ссавці та птахи, до числа других — решта тваринних організмів і всі рослини. Особливу групу становлять *гетеротерми*, які в період активності мають сталу температуру, а в період перезимівлі чи відпочинку — знижену; до них належать деякі ссавці та птахи.

Якісний і кількісний вплив тепла на організми. *Якісний вплив* тепла на організми визначається специфікою їх індивідуального розвитку, на різних стадіях якого вимоги змінюються. Короткочасний вплив екстремальних температур, особливо низьких, на певних стадіях визначає хід подальшого розвитку організмів. Наприклад, озимі сорти пшениці можна пристосувати до весняної сівби за допомогою яровизації, яка полягає у витримуванні насіння протягом кількох діб за знижених температур. За зниженої температури гальмується розвиток рослин, що збільшує вірогідність формування продуктивніших пагонів.

Вплив температури на розвиток підземної і надземної частин рослин дещо різний. За низької температури коренева система розвивається краще, ніж надземна частина. Ранньою сівбою можна досягти доброго розвитку кореневої системи, що особливо важливо для забезпечення стійкості рослин в умовах нестачі вологи. Пізня сівба, навпаки, приводить до відносно інтенсивнішого розвитку надземної частини, що важливо для боротьби з бур'янами у зв'язку з вищою конкурентною здатністю культурних рослин та наявністю резерву часу для передпосівного знищення бур'янів.

За підвищеної температури ґрунту вузол кущіння закладається ближче до поверхні, що впливає на зимостійкість рослин та їх урожайність.

Для багатьох рослин необхідною умовою формування бруньок та їх проростання є охолодження відповідно під час розвитку рослин і взимку.

Отримувані ефекти часто несумірні з величиною і тривалістю дії стимулу, тому їх можна визначити як сигнальні впливи.

Для багатьох рослин характерна періодичність явищ, пов'язана з добовою циклічністю температури навколишнього середовища (термоперіодизм): одні процеси відбуваються краще за вищої температури (вдень), інші — за нижчої (вночі). Активність тварин також часто має циклічний характер.

Температура середовища може бути чинником, що визначає форму розмноження у комах — статеву чи нестатеву; перехід до останньої в одних комах відбувається за зниження температури, в інших — за підвищення.

Для *кількісного впливу* температури на організми характерна наявність кореляційних зв'язків між величиною температурного впливу і масштабами біологічних проявів.

Від температури тіла великою мірою залежать швидкість і характер процесів, які відбуваються в організмі (фотосинтез, обмін речовин тощо). Це стосується як ферментів, які керують біохімічними процесами, так і самих процесів. Для фотосинтезу оптимальна

температура нижча, ніж для дисиміляції. За надмірно високих або низьких температур фермент може втратити здатність виконувати належні йому функції. Ілюстрацією цього може бути залежність інтенсивності фотосинтезу від температури (див. рис. 5.2, *в*).

Температура повітря впливає на інтенсивність обміну речовин в організмах свійських тварин. Зі зниженням температури обмін речовин посилюється; низькі й високі температури, різкі їх коливання викликають дискомфорт і захворювання тварин, що призводить до зменшення їх продуктивності.

Діапазон температур, в якому організми нормально розвиваються і розмножуються, називають *зоною температурної толерантності*. Організми з широкою зоною температурної толерантності називають *евритермними*, з вузькою — *стенотермними*. Центром зони є тепловий оптимум, ближче до її країв знаходяться зони температурного заклякання — теплового і холодового; вони можуть змінюватися з віком чи фазою розвитку.

Концепції біологічного часу організмів як функції тепла. Температура навколишнього середовища, за якої відбувається розвиток організмів, є головним чинником, що визначає час (тривалість) цього розвитку. Є дві концепції залежності часу розвитку від температурних реакцій.

Перша концепція виходить зі швидкостей біологічних процесів і ґрунтується на правилі Вант-Гоффа, згідно з яким швидкість хімічних реакцій подвоюється або потроюється з підвищенням температури на 10 °С.

С. Арреніус розвинув правило Вант-Гоффа і запропонував формулу, згідно з якою залежність швидкості реакції від температури має експоненціальний характер.

І. Белехрадек виявив відхилення від цього правила і запропонував нове, яке описується рівнянням степеневої кривої.

Подальшими дослідженнями було виявлено відрізок у зоні високих температур, де швидкість перебігу процесів не підлягає закону пропорційності відносно температури. Для цього випадку І. Давідсон ввів логістичну функцію.

Концепції, які зводять залежність темпів розвитку організмів від температури до простих математичних функцій, викликають низку зауважень, основними з яких є:

- невелика точність у зоні високих температур;
- справедливість лише для вузького діапазону температур;
- деякі явища не підлягають правилам залежності розвитку організмів від температури, зокрема процесів розвитку, для яких потрібна стала температура;
- відмінність у темпах розвитку за сталих і змінних температур, які не виходять за межі критичних.

Друга концепція виходить з кількості тепла, необхідного для здійснення процесів розвитку (*суми ефективних температур*).

Вік рослини чи стадію її розвитку характеризують поняттям «біологічний час», як правило, за десяти- або стобальною шкалою. Визначальними чинниками розвитку рослин вважають температуру та тривалість світлового дня.

Кожен міжфазовий період рослини проходять лише за температури, що перевищує певний поріг $t_п$, який називають *біологічним мінімумом*. У процесі проходження фаз розвитку висота температурного порогу збільшується (табл. 5.1, 5.2).

Таблиця 5.1. **Температура висівання і проростання насіння сільськогосподарських культур,** °С
(за М.Ф. Цупенком, 1990)

Культура	Мінімальна температура проростання насіння	Оптимальна температура для сівби	Культура	Мінімальна температура проростання насіння	Оптимальна температура для сівби
Пшениця озима	1 – 2	15 – 18	Квасоля	8 – 10	12 – 15
Жито озиме	1 – 2	15 – 18	Соняшник	3 – 4	6 – 8
Ячмінь озимий	1 – 2	15 – 18	Льон	3 – 5	5 – 6
Пшениця яра	1 – 2	4 – 5	Коноплі	1 – 3	7 – 10
Ячмінь ярий	1 – 2	4 – 5	Буряки цукрові	4 – 5	7 – 8
Овес	2 – 3	4 – 5	Буряки кормові	2 – 5	6 – 7
Кукурудза	8 – 10	10 – 12	Ріпак	1 – 2	2 – 3
Просо	8 – 10	10 – 12	Рижій	1 – 2	2 – 3
Сорго	8 – 10	10 – 12	Бавовник	12 – 15	15 – 18
Рис	11 – 12	14 – 15	Морква	3 – 4	5 – 6
Гречка	5 – 8	14 – 15	Капуста	6 – 8	6 – 8
Горох	2 – 3	4 – 5	Томати	10 – 12	10 – 12
Мак	2 – 3	4 – 5	Огірки	10 – 12	13 – 15
Люпин синій	2 – 4	4 – 5	Картопля	7 – 8	8 – 10
Люпин жовтий	3 – 5	5 – 6	Конюшина	1 – 2	4 – 5
Вика озима	2 – 3	15 – 18	Люцерна	1 – 2	4 – 5
Вика яра	2 – 3	4 – 5	Еспарцет	1 – 2	4 – 5
Боби	3 – 5	6 – 8	Серадела	1 – 2	4 – 5
Сочевиця	3 – 4	4 – 5	Суданська трава	10	10 – 12
Чина	3 – 4	5 – 6	Могар	8 – 10	10 – 12
Нут	4 – 5	5 – 6	Гірчиця	1 – 2	2 – 3
Соя	8 – 10	10 – 12	Баштанні культури	12 – 15	15 – 17

Таблиця 5.2. **Біологічні мінімуми і господарські оптимуми температури , °С, в різні періоди розвитку сільськогосподарських культур** (за В.М. Степановим)

Культура	Мінімум				Оптимум			
	поява сходів	формування вегетативних органів	формування генеративних органів	плодоношення	поява сходів	формування вегетативних органів	формування генеративних органів	плодоношення
Пшениця	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Жито	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Ячмінь	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Овес	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Кукурудза	10 – 12	10 – 12	12 – 15	12 – 10	15 – 18	16 – 20	20 – 24	18 – 24
Просо	10 – 12	10 – 12	12 – 15	12 – 10	15 – 18	16 – 20	18 – 22	18 – 24
Рис	14 – 15	14 – 15	18 – 20	15 – 12	18 – 22	18 – 27	22 – 27	20 – 25
Гречка	7 – 8	7 – 8	10 – 12	12 – 10	16 – 18	16 – 20	16 – 20	17 – 21
Вика	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Горох	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Сочевиця	4 – 5	4 – 5	12 – 15	12 – 10	6 – 12	12 – 16	17 – 21	17 – 22
Чина	4 – 5	4 – 5	10 – 12	12 – 10	6 – 12	12 – 16	17 – 21	19 – 23
Боби	5 – 6	5 – 6	8 – 10	10	9 – 12	12 – 16	16 – 20	16 – 22
Нут	5 – 6	5 – 6	12 – 15	15 – 12	9 – 12	17 – 18	17 – 21	20 – 24
Квасоля	12 – 13	12 – 13	15 – 18	15 – 12	15 – 18	16 – 26	18 – 25	20 – 23
Соя	10 – 11	10 – 11	15 – 18	12 – 10	15 – 18	15 – 18	18 – 22	18 – 22
Люпин	5 – 6	5 – 6	8 – 10	10	9 – 12	14 – 16	16 – 20	16 – 20
Буряки цукрові	6 – 7	6	–	–	15 – 17	20 – 22	–	–
Картопля	7 – 8	–	–	2*	18 – 25	20 – 25	20 – 25	16 – 18*
Соняшник	7 – 8	7 – 8	12 – 15	12 – 10	9 – 12	15 – 18	19 – 23	16 – 22
Арахіс	14 – 15	14 – 15	18 – 20	15 – 12	18 – 22	18 – 22	22 – 27	20 – 25

* Температура ґрунту для бульбоутворення.

Для повного проходження міжфазового періоду рослини мають отримати певну суму температур понад біологічний мінімум ($t_а - t_п$, яку теж можна вважати пороговою) — *суму ефективних* ($\Sigma t_{еф}$) або *біологічних* ($\Sigma t_б$) температур, $t_а$ — середньодобова температура, що перевищує біологічний мінімум певного періоду розвитку культури і називається *активною*. Під активною температурою найчастіше спрощено розуміють середньодобову температуру повітря після переходу її через біологічний мінімум («нуль») розвитку певної культури, тобто початку вегетації. *Ефективною* називають різницю між середньодобовою температурою середовища і біологічним мінімумом («нулем») для цієї культури.

Сума ефективних температур, потрібна для проходження рослинами повного циклу розвитку, складається із сум ефективних температур за міжфазові періоди.

Термічні ресурси території зазвичай оцінюють за сумами активних та ефективних температур повітря, вищих за 10 °С, оскільки за такої температури вегетує більшість рослин, або вищих за 5 °С, що є обмежувальною для багатьох зернових і плодово-ягідних культур, а потреби рослин у теплі — за сумою ефективних (біологічних) температур; їх прийнято наводити наростаючим підсумком.

Для якнайточнішого встановлення потреб рослин у теплі і термічних ресурсів суму ефективних температур треба визначати з урахуванням зміни величини біологічного мінімуму в процесі розвитку рослин із виключенням так званого «баластного рівня» тепла, тобто понад верхній оптимум, із диференційованим урахуванням сум середньоденних та середньонічних температур у зв'язку з залежністю розвитку рослин і від добової амплітуди температури.

Порівнянням термічних ресурсів території та потреб рослин у теплі можна визначити їх забезпеченість теплом.

З підвищенням $t_а$ в оптимальних межах розвиток рослин прискорюється, а тривалість міжфазового періоду скорочується. Якщо за якусь добу $t_а < t_п$, то сума ефективних температур і біологічний час не змінюються.

Для однорічних культур відрахунок суми температур починають від дати сівби або появи сходів, для багаторічних і озимих — від дня, до якого сума температур досягла 50 °С (для озимих, крім того, від дати сівби).

Теорія температурних градієнтів середовища вирощування рослин. Рослини як складова екосистеми не тільки впливають на динаміку і вертикальний розподіл температур повітря і ґрунту, а й самі зазнають зворотного впливу. Це знайшло своє відображення в теорії температурних градієнтів середовища оселення рослин, розробці якої значну увагу приділив С.І. Радченко. Одним з основних її положень є різне пристосування і різні вимоги до температури надземних і підземних органів рослин.

Більшість вищих рослин пристосована до мінусового температурного градієнта середовища в період вегетації рослин вдень, за якого температура ґрунту на 3 – 8 °С нижча за температуру повітря.

У разі розвитку з насіння рослини інтенсивніше ростуть за плюсового температурного градієнта, тобто коли температура ґрунту перевищує температуру повітря. Перехід рослин на автотрофний спосіб життя потребує мінусового температурного градієнта. За оптимальних для рослин початкових температур повітря і ґрунту, які формують градієнт, позитивний вплив останнього полягає в інтен-

сивному розвитку і здоровому стані кореневої системи, більшій стійкості до низької і високої температур, посухи і хвороб і, як наслідок, доброму врожаї.

Зростання за плюсового градієнта призводить до раннього фізіологічного старіння багатьох видів рослин, що виявляється в порушенні обміну речовин з утворенням отруйних продуктів гідролізу, які спричинюють відмирання тканин, точок росту, обпадання бутонів і зав'язі, в'янення, захворювання рослин та ін. Там, де протягом року переважає мінусовий градієнт, активне життя рослин триває довше, наприклад у вологій тропічній зоні, тоді як у степу активна вегетація спостерігається тільки в першій частині літа, а в пустелі — протягом ще коротшого періоду.

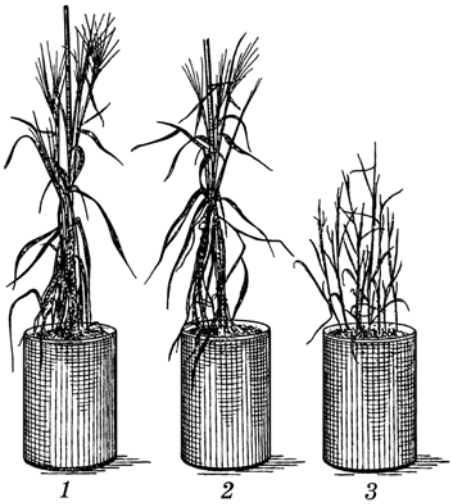


Рис. 5.3. Вплив вертикальних температурних градієнтів на ріст і розвиток ячменю (за С.І. Радченком, 1968). Температура повітря 24 °С, температура ґрунту:
1 — 12 °С (мінусовий градієнт);
2 — 24 °С (нульовий градієнт); *3* — 36 °С (плюсовий градієнт)

Вплив вертикальних температурних градієнтів на ріст і розвиток ячменю ілюструє рис. 5.3.

У реальних умовах температура повітря і ґрунту змінюються не тільки в просторі, а й у часі, тобто кожна частина рослини протягом доби і року переносить дію різних температур через постійну динаміку тепла і світла в навколишньому середовищі. Ці коливання температур називають *градієнтом у часі*. Амплітуда коливання, або різниця температур за певний інтервал часу, є величиною градієнта в часі.

Градієнти можуть мати різні знаки: мінус, нуль і плюс; знак градієнта вказує напрямок потоку теплової енергії. Кожен градієнт може бути мінімальним, оптимальним або максимальним для рослин за величиною.

Градієнт можуть створювати як низькі, так і високі температури. В першому випадку його називають «холодним», у другому — «жарким». Біологічне значення однакових за величиною градієнтів за різних початкових температур може істотно різнитись. Наприклад, два градієнти в 10 °С, але утворені в одному випадку температурами ґрунту 5 і повітря 15 °С, а в другому — відповідно 15 і 25 °С, не-

рівноцінні. В першому випадку він є «холодним», за якого рослини потерпають від поганого доступу елементів живлення і води з ґрунту, в другому — «помірним», за якого рослини розвиваються добре. Градієнт, утворений температурою ґрунту 25 і повітря 35 °С, є «жарким» і сприятливим для теплолюбних культур.

Температурні криві. Зміну оптимальної для рослини температури протягом вегетаційного періоду (термічний режим) характеризують *температурною кривою*. За її характером виділяють такі групи рослин:

- тропічного походження (розвиваються за рівномірного ходу температури; лінія рівна);
- дворічні та озимі помірної смуги (розвиваються за зниження температури восени та її підвищення навесні і влітку; крива увігнута);
- ярі однорічні (розвиваються спочатку за підвищення температури, потім — за її зниження; крива випукла).

Вода

Значення води для організмів розглянемо в чотирьох аспектах: як компонент, розчинник, носій і чинник термобуферності.

1. Вода є основною частиною всіх живих організмів. У живих клітинах вміст води досягає 90 %, причому в біохімічних процесах значення води як структурного чинника навіть важливіше, ніж як сировини в процесах продукування і розчинника хімічних сполук.

2. Важлива функція води і як розчинника. В ній може розчинятися велика кількість хімічних сполук. Як рослини, так і тварини засвоюють мінеральні солі тільки у формі водних розчинів.

3. Транспорт речовин в організмах здійснюється тільки через водні розчини. Процеси росту залежать від надходження води, оскільки вона також є будівельним елементом.

4. Вода — важливий чинник термобуферності організмів, тобто дає їм змогу підтримувати відносну стабільність температури в умовах різкої зміни теплового режиму середовища.

Значення води в житті організмів відбиває її екологічну роль. Тільки окремі організми можуть жити без споживання води з навколишнього середовища, і не може жити жоден — без виділення води. Водний баланс живих організмів має першочергове значення для оцінки екологічної ситуації серед тварин і рослин. Залежність інтенсивності фотосинтезу від водного потенціалу листків рослин ілюструє рис. 5.2, *г*.

За значенням води в житті організмів їх поділяють на *пойкілогідричні*, тобто ті, які витримують зневоднення тканин внаслідок зниження вологості середовища, і *гомойогідричні*, які потребують стабільного вмісту води в тканинах.

Особливо чутливі до нестачі води тіневитривалі рослини-мезофіти, в яких втрата 1 % води може спричинити в'янення. У степових ксерофітів втрата навіть 25 % води не призводить до припинення життєдіяльності. Рекордсменом є торф'яний мох (сфагнум), який витримує втрату 95 – 97 % води з організму.

Джерела води для організмів. Водний баланс організмів, тобто співвідношення надходження і витрати води, регулюється як самим організмом, так і умовами навколишнього середовища.

Організми споживають воду такими основними шляхами:

1) абсорбцією з водного середовища крізь поверхню тіла (організми, які живуть у воді);

2) всмоктуванням за допомогою кореневої системи;

3) абсорбцією водяної пари (переважно нижчі рослини — мохи, лишайники, водорості, а також комахи);

4) отриманням води з дощових опадів (деякі рослини);

5) споживанням з їжею;

6) за рахунок вивільнення води в процесі метаболізму.

Джерелом води для рослин в основному є волога ґрунту, яку поділяють на категорії. Найважливіша з них — продуктивна. Її нижньою і верхньою межею є вологість в'янення рослин (ВВР) та повна вологоємність (ПВ; рис. 5.4). Оптимальна для рослин продуктивна волога в діапазоні від вологості розриву капілярів (ВРК) до найменшої (польової) вологоємності (НВ).

Організми виділяють воду:

1) шляхом транспірації (залежить від відносної вологості повітря, вітру та ін.);

2) шляхом випаровування води з поверхні тіла (найчастіше нижчими рослинами і тваринами);

3) з водяною парою;

4) через екскрецію (у тварин; у рослин — гутація).

Кількісний та якісний вплив води на організми. За ставленням до води розрізняють такі групи організмів:

- *гідробіонти* — організми, які живуть у воді;
- *гелобіонти* — організми, які живуть у межовій зоні води й суходолу;
- *гігрофіли* — організми, які потребують високої вологості середовища (атмофіли — високої вологості повітря, власне гігрофіли — високої вологості ґрунту);
- *мезофіли* — організми, які живуть в умовах середнього зволоження;
- *ксерофіли* — організми, найстійкіші в умовах сухого середовища.

Критичними періодами за потребами у воді для *озимих* і *ярих зернових колосових культур* є період від фази виходу в трубку до колосіння, для *кукурудзи* — від цвітіння до молочної стиглості, для *бобових* і *гречки* — в період цвітіння, для *соняшнику* — від утво-

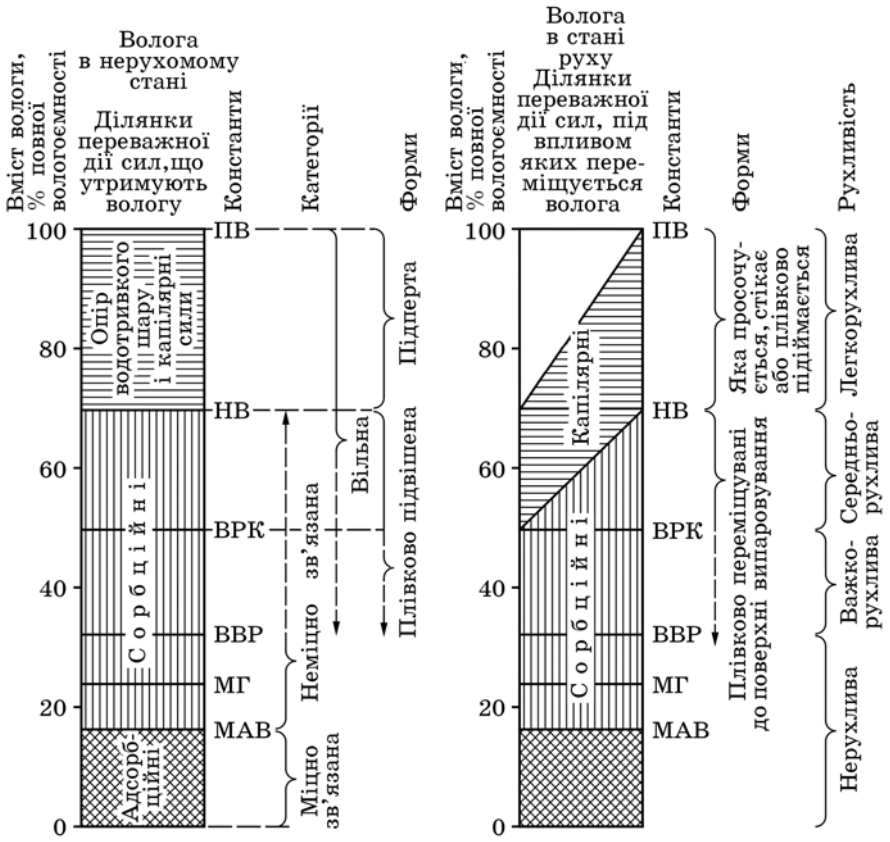


Рис. 5.4. Схема категорій вологості ґрунту (за О.А. Роде)

рення кошика до цвітіння, для *картоплі* — в періоди цвітіння і формування бульб, для *бавовнику* — від цвітіння до закладання коробочок, для *баштанних* — від цвітіння до достигання. За помірного і недостатнього забезпечення рослин водою урожайність їх знижується, але якість продукції, зумовлена вмістом цінних речовин, поліпшується. Так, за сухого клімату в зерні збільшується вміст білка, в насінні соняшнику — жиру, в бульбах картоплі — крохмалю, в ягодах винограду і коренеплодах цукрових буряків — цукру і т.д.

Надмірна вологість повітря:

- призводить до вилягання зернових культур;
- перешкоджає нормальному запиленню рослин;
- затримує підсихання зерна і соломи, збирання врожаю;

• зумовлює поширення грибкових захворювань рослин.

Занадто низька вологість повітря (< 30 %):

• призводить до підсихання листків, зменшення фотосинтетичного потенціалу посівів;

• спричинює пересихання пилку, неповне запліднення;

• зумовлює слабке закладання бруньок;

• знижує якість льоноволокна;

• призводить до розтріскування зерна, дострокового його достигання, але підвищує хлібопекарські якості пшениці, вміст цукру в коренеплодах цукрових буряків.

Особливо небезпечне поєднання низької вологості повітря з нестачею води в ґрунті. Зокрема, в період після цвітіння це прискорює достигання зерна (так званий запал зерна), воно виходить щуплим, невиповненим.

Кількість води, яка витрачається на утворення одиниці маси сухої речовини рослин, називають *коефіцієнтом водоспоживання* $k_в$; його виражають у грамах води на грам сухої речовини. Для певної рослини він не є сталою величиною: за обмежених ресурсів вологи він зменшується, тобто рослини економніше витрачають вологу, за достатніх — збільшується. Найкраще характеризують потреби рослин у воді протягом вегетаційного періоду *біологічні криві водоспоживання* рослин фітоценозу за оптимальної вологості ґрунту — сукупність змінних у часі біологічних коефіцієнтів випаровування за вегетаційний період. Біологічні коефіцієнти залежать від ґрунтово-кліматичних умов та особливостей фітоценозу.

Повітря

Газовий склад приземного та ґрунтового повітря. Атмосферне повітря складається з азоту (об'ємна частка 78,08 %), кисню (20,95 %), аргону (0,93 %) і вуглекислого газу (0,03 %). Крім того, в повітрі містяться незначні кількості неону, криптону, ксенону, гелію, водню. Вміст перелічених газів у повітрі відносно сталий. З інших складових повітря слід виділити водяну пару, яка є досить мінливою залежно від низки чинників.

Склад ґрунтового повітря менш сталий, що зумовлено відносною замкненістю простору, в якому воно знаходиться, та обмеженими можливостями повітрообміну в системі ґрунт — приземний шар повітря. Внаслідок біологічної діяльності рослин, тваринних організмів і мікроорганізмів вміст у ґрунтовому повітрі вуглекислого газу може підвищуватись до 10 – 12 %, а кисню — знижуватись до 10 %, що призводить до коливання об'ємної частки азоту від 78 до 87 %.

Екологічна роль вітру. Вітер — горизонтальне переміщення повітря — характеризують напрямком і швидкістю. Напрямок вітру

визначають у градусах (0°, 360° — північ, 90° — схід, 180° — південь, 270° — захід) або згідно з міжнародним позначенням сторін світу (N — північ, E — схід, S — південь, W — захід, NW — північний захід і т.д.) Повторюваність вітрів у різних напрямках у певній місцевості прийнято зображувати розою вітрів, по основних восьми осях якої зазначають кількість днів з переважанням вітру певного напрямку. Швидкість вітру виражають у метрах за секунду або в кілометрах за годину.

Виникнення вітру зумовлене неоднаковим тиском над різними ділянками земної поверхні (горизонтальним баричним градієнтом) внаслідок її нерівномірного нагрівання, в результаті чого повітря переміщується від холодніших ділянок, над якими тиск вищий, до тепліших.

Вітер відіграє важливу роль у житті рослин і часто є для них одним із найважливіших чинників середовища. Транспірація рослин та пов'язані з нею втрати води пропорційні швидкості вітру. Для деяких видів рослин особлива роль вітру як переносника пилку. В районах, де вітри дуже сильні і тривалі, вони великою мірою впливають на будову і форму деревної рослинності.

Вплив вітру на тваринні організми полягає в поширенні запахів з інформацією про інші особини, їжу, в перенесенні їх на інші території (анемохорія).

Вітер швидкістю до 5 м/с сприяє запиленню анемофільних рослин, однак переносить і насіння бур'янів. Посилення вітру призводить до підвищення транспірації, висушування верхнього шару ґрунту, перенесення ґрунтових часточок, вилягання посівів, обривання листків, квіток і плодів, перешкоджає діяльності комах-запилювачів. Водночас вітер прискорює висихання валків скошеної зеленої маси трав, зернових, фізичне дозрівання ґрунту напровесні.

Вплив кліматичних чинників на мінеральне живлення рослин

Коливання вологості, температури і разом з ними умов біологічних, хімічних і фізичних процесів у ґрунті позначається на вмісті в ньому елементів живлення.

Вода — основна складова частина ґрунтового розчину — чинить визначальний вплив на рух елементів живлення і їх надходження в рослини. Між забезпеченням рослин водою і кількістю доступних елементів живлення існує прямий зв'язок. Мають значення і фізичні властивості ґрунту — вологоємність і водопроникність.

Амоніфікація відбувається за більших градієнтів температур і вологості ґрунту, ніж нітрифікація, яка йде лише під впливом специфічної групи нітрифікуючих бактерій. Оптимальна температура мінералізації азоту — 28 – 32 °С, оптимальна вологість — у межах

польової вологоємності. Температурний оптимум для утворення нових органічних речовин (гуміфікації) дещо нижчий, ніж для мінералізації; це ж стосується і вологості ґрунту.

Підвищена мінералізація органічних речовин і вивільнення мінерального азоту за сприятливих за температурою та вологістю ґрунту умов може призвести до втрат азоту з ґрунту, забруднення дренажних, поверхневих і ґрунтових вод насамперед нітратами. Максимальне вимивання нітратів спостерігається під час весняного сніготанення, а також після сильних дощів (інтенсивністю понад 10 мм на добу). Надлишок води негативно позначається на утворенні нітратів і поглинанні їх рослинами; при цьому інтенсифікується діяльність денітрифікуючих бактерій, що призводить до втрат азоту у вигляді N_2, N_2O, NO.

Накопичення нітратів у рослинах збільшується за недостатнього освітлення через зниження синтезу вуглеводів, які зв'язують відновлений із нітратів амоній, та нестачу енергії для відновлювальних реакцій. Засвоєння елементів живлення за слабкого освітлення знижується, що призводить до зменшення швидкості фотосинтезу.

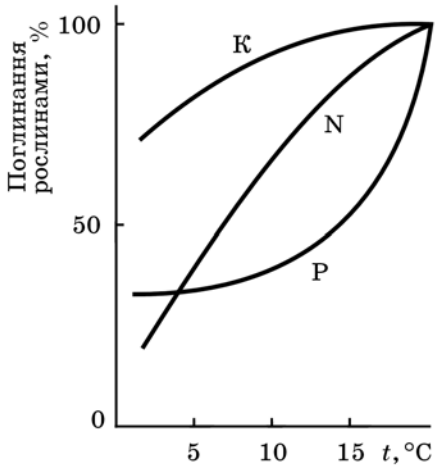


Рис. 5.5. Вплив температури ґрунту на надходження в рослини елементів живлення, % поглинання за 20 °C
(за З.Й. Журбицьким)

За достатньої кількості вологи поглинання рослинами фосфору випереджає поглинання калію й особливо азоту, і навпаки, посуха негативно впливає на надходження фосфору. В несприятливих за зволоженням умовах поглинання елементів живлення з ґрунту та органічних добрив знижується менше, ніж з мінеральних добрив.

За низьких температур надходження в рослини азоту і фосфору істотно ослаблюється. Так, надходження азоту і фосфору в рослини за температури ґрунту 5 °C в 3 рази менше, ніж за температури 20 °C. За зниженої температури посилюється відносне засвоєння кальцію і магнію, але ослаблюється поглинання калію. Вплив температури ґрунту на надходження в рослини NPK ілюструє рис. 5.5.

Вплив метеорологічних умов на поглинання рослинами елементів живлення на малородючих ґрунтах помітніший, ніж на достатньо забезпечених мінеральними речовинами.

Вплив кліматичних чинників на розвиток і поширення шкідників і хвороб рослин

Вплив метеорологічних і кліматичних чинників на чисельність і шкідливість популяцій шкідників є комплексним і складним (рис. 5.6). За різкої зміни метеорологічної ситуації в чисельності популяцій можуть статися істотні зміни, оскільки на різних стадіях розвитку вони по-різному реагують на зовнішні умови. Критичними періодами для комах є стадії розмноження та метаморфозу.

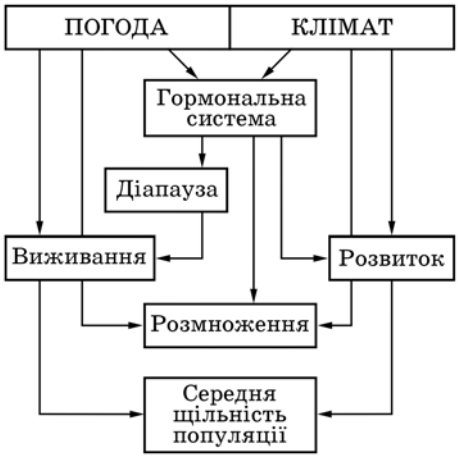


Рис. 5.6. Вплив погодних умов на зміну щільності популяцій шкідників
(за І. Петром та ін., 1987)

Ступінь шкідливості видів комах із високою репродуктивною здатністю (наприклад, попелиць) залежить від погодних умов поточного року, для більшості видів комах — від минулорічної чисельності популяції і великою мірою визначається погодними умовами попереднього року. Спалахи розмноження комах частіше фіксуються в агробіоценозах, ніж у природних угрупованнях.

Дія погоди на динаміку популяцій шкідників як змінного чинника, що не залежить від їх щільності, може бути компенсувальною або підсилювальною відносно чинників, пов'язаних зі щільністю популяцій (внутрішньовидові зв'язки, поширення патогенів і паразитів комах, харчові ресурси). Якщо популяція знаходиться в депресії, погодні умови впливають більше, якщо вона чисельна — менше.

Кліматичні чинники діють не тільки на характер поведінки, фізіологічні процеси та чисельність шкідників, а й на біотичні зв'язки їх популяцій.

Життєві процеси шкідливих організмів найбільшою мірою залежать від *температури*. Вона регулює процеси метаболізму, впливає на інтенсивність життєдіяльності — швидкість розвитку, рух, засвоєння їжі, розмноження тощо.

Для більшості комах оптимальним є температурний діапазон +10…+40 °С, якщо температури поминає ці межі, спостерігається зниження активності комах або їх загибель. Деякі комахи витримують зниження температури до –10 °С (гусінь озимої совки) і навіть до –30 °С (гусінь лучного метелика).

Для комах, як і для рослин, характерна залежність тривалості окремих стадій розвитку від середньодобової температури: з її підвищенням розвиток прискорюється:

$$n = \frac{\sum t_{\text{еф}}}{\overline{t}_{\text{а}} - t_{\text{п}}},$$

де n — тривалість стадії розвитку, діб; $\sum t_{\text{еф}}$ — сума ефективних температур, потрібна для проходження стадії, °С; $\overline{t}_{\text{а}}$ і $t_{\text{п}}$ — відповідно середньодобова температура і нижній температурний поріг проходження стадії розвитку, °С.

Середньодобова температура визначає плодючість комах, тобто їх здатність давати за рік кілька поколінь потомства.

Найліпші умови для перезимівлі комах створюються в помірно холодні зими зі стійким і високим сніговим покривом, невеликою амплітудою коливання температур.

Гризуни чутливі до охолодження, що може призводити до їх загибелі за глибокого промерзання ґрунту взимку, повернення весняних холодів.

Вологість середовища. Більшість комах краще розвивається за вологої погоди, однак для деяких, наприклад бурякового довгоносика, висока відносна вологість повітря згубна. У деяких видів комах за високої вологості ослаблюється розмноження внаслідок посилення розвитку патогенних організмів.

Дощова холодна погода восени спричинює масову загибель гризунів. Водночас літні спека і посуха теж несприятливо впливають на їх життєдіяльність.

Тривалість дня і ночі позначається на сезонних біологічних ритмах організмів. Особливо сильно фотоперіодизм впливає на міграцію, розмноження комах і безпосередньо на діапаузу. За температурою повітря і на основі фотоперіодизму можна визначати кількість поколінь комах за рік і прогнозувати їх активність.

Освітленість регулює активність організму протягом дня. Наприклад, у комах їй підпорядковується статева активність. Крім того, освітленість впливає на організми, активність яких пов'язана з температурою середовища (у темних комах — підвищення температури).

Сильні вітри негативно діють на комах, але слабкі можуть сприяти їх перенесенню (наприклад, сарани).

Інтенсивність поширення і розвитку хвороб культурних рослин* визначається характером взаємовідносин збудника хворо-

* За матеріалами монографії Л.О. Макарової, І.І. Мінкевич (1977).

би, рослини-хазяїна і зовнішнього середовища. Серед комплексу чинників останнього вирішальна роль належить клімату і погоді.

Кліматичні умови впливають у кількох напрямах, зокрема визначають:

- особливості розвитку фітопатогенних грибів, їх життєздатність, плодючість, агресивність та здатність до зараження рослин;
- стійкість рослин до зараження фітопатогенними грибами;
- інтенсивність перебігу хвороби рослин і як наслідок — вплив хвороби на їх продуктивність.

Значення основних кліматичних чинників полягає не тільки в їх необхідності для проходження інфекції, а й у їх просторово-часовій мінливості та пов'язаним з цим зональним і сезонним розвитком хвороб.

Захворювання з коротким інкубаційним періодом і швидким перебігом значною мірою зумовлюються сприятливими погодними умовами, а на патогенів із тривалим інкубаційним періодом погода практично не впливає.

За біологічними особливостями і ступенем впливу на них погодних умов збудників хвороб поділяють на такі групи:

1) ґрунтові патогени, життєвий цикл яких відбувається переважно в ґрунті або на рослинних рештках (коренева гниль, кила капусти та ін.) — визначальний вплив на них чинять вологість і температура ґрунту, його аерація;

2) патогени, які зберігаються на поверхні або всередині насіння (сажки зернових, фузаріози, фітофтороз картоплі та ін.); спричинюють хвороби, за яких паразити розвиваються всередині тканин рослини-хазяїна — на них основний вплив мають температура і вологість зовнішнього середовища в період проростання насіння і початку вегетації рослин, та хвороби, збудники яких проникають у тканини рослин протягом їх вегетації, — на них впливають метеорологічні чинники в період росту і розвитку рослин;

3) патогени, які ведуть тільки паразитичний спосіб життя (іржасті та борошнисторосяні гриби) — на них впливають погодні умови в період накопичення, збереження збудника хвороб і зараження рослин (температура і вологість повітря, тривалість рос, частота опадів);

4) патогени, що мають сапротрофну фазу, під час якої вони розвиваються на рослинних рештках (парша яблуні, кокомікоз кісточкових та ін.) — крім поточних умов погоди на них впливають метеорологічні чинники під час зимівлі (висота снігового покриву, глибина промерзання ґрунту).

На кожному етапі розвитку хвороби рослини — збереження збудника інфекції, його поширення, зараження і перебіг захворювання — провідними є різні кліматичні чинники, серед яких найваж-

ливіші температура і вологість навколишнього середовища, опади і роса, менш важливий — світло.

Розвиток хвороби за одного і того ж комплексу кліматичних чинників змінюється залежно від виду і сорту рослини, що уражується. На стані дво- і багаторічних рослин крім поточної погоди позначаються умови перезимівлі.

Значення кліматичних чинників у виникненні і розвитку хвороб рослин*. Визначальний вплив на появу, поширення і розвиток хвороб рослин мають температура і вологість середовища, які діють сукупно. Зміна значення одного з чинників зумовлює зміну реакції патогену на значення іншого. Решта чинників (елементів) середовища є другорядними, переважно коригують дію основних і виступають на перший план лише в певні періоди життєдіяльності патогенів.

Температура середовища. Вплив цього чинника позначається на патогенах ще до зараження ними рослин і зумовлює життєздатність збудників хвороб до початку вегетаційного періоду. Найменш стійкими до температури середовища в цей час є так звані пропагативні спори. З одного боку, спори здатні проростати в певному інтервалі температур, наприклад конідії збудника борошнистої роси — від 0 до 35 °С, тому вони не зберігаються за таких температур. З іншого боку, спори здебільшого витримують лише короткочасне охолодження, що майже позбавляє їх можливості перезимовувати в природних умовах помірних широт. Стійкішими до тривалих мінусових температур є ґрунтові гриби, які перезимовують на рослинних рештках або в ґрунті, але вони чутливі до різких коливань температури.

Подальший розвиток хвороб теж регулюється температурою середовища, вплив якої виявляється ще до зараження грибами рослин — у період формування спор. Наприклад, найактивніше проростають конідії фітофтори картоплі, які формуються за температури 10 – 15 °С.

У момент зараження рослин вплив температури на активність грибів особливо помітний, що визначає подальший розвиток інфекції (табл. 5.3).

Тривалість збереження вологи на рослинах, що є необхідною умовою проростання спор більшості грибів, також визначається переважно температурою. З підвищенням температури волога швидше випаровується, що зменшує можливість зараження. Залежність тривалості зволоження для проростання спор грибів від температури наведено в табл. 5.4.

* За матеріалами монографії Л.О. Макарової, І.І. Мінкевич (1977).

Таблиця 5.3. **Температурні умови розвитку деяких збудників хвороб** (за даними Л. Макарової, І. Мінкевич, 1977)

Стадія розвитку збудника хвороби	Температура, ° С			Автор
	Нижня межа	Оптимальна	Верхня межа	
Лінійна іржа пшениці				
Проростання спор	2	21 – 23 15 – 24	26 – 31 30 – 31	Степанов
Зараження рослин	10	23 – 25	30	Чумаков
Розвиток у тканинах рослин	2	20	—	Цадокс
Бура іржа пшениці				
Проростання спор	2	20	32	Степанов
Розвиток у тканинах рослин	2	25	35	Цадокс
Жовта іржа пшениці				
Проростання спор	1	9 – 13	23	Чумаков
Зараження рослин	5	5 – 20	26	Цадокс
Розвиток у тканинах рослин	3	12 – 15	20	
Гельмінтоспоріозна гниль пшениці				
Проростання спор	6	22 – 28	36	Тупеневич
Розвиток у тканинах рослин	8 – 9	18 – 25	—	Козирєва
Спороношення	5	22 – 26	35	Коршунова та ін.
Летюча сажка пшениці				
Проростання спор	4 – 5	22 – 30	—	Фіалковська
Розвиток спор	5	16 – 18	25 – 30	
Фузаріоз колосу пшениці				
Розвиток спор	7 – 10	25 – 30	37 – 38	Коршунова та ін.
Спороношення	< 10	24 – 26	< 40	
Мілдью винограду				
Проростання спор	—	10 – 15	—	Шатський
Спороношення	8	25	33	
Борошниста роса винограду				
Проростання спор	5	10 – 30	33	Сайдаметов
Фітофтороз картоплі				
Проростання спор	6 – 8	10 – 15	20	Кросьє
Утворення ростових трубочок	4	25	30	Наумова

Швидкість проростання спор залежить також від температури: найвища вона за оптимального значення останньої і зменшується в міру відхилення її від оптимуму.

Таблиця 5.4. **Залежність мінімальної тривалості зволоження (в годинах), необхідної для проростання деяких грибів, від температури** (за даними Л. Макарової, І. Мінкевич, 1977)

Хвороба	Середня температура періоду,° С						Автор
	5	10	15	20	25	30	
Бура іржа пшениці	7	5	4	3,5	3,5 – 4	—	Степанов
Корончаста іржа вівса	24	10	6	5	5	12	Марланд
Парша яблуні	29	12	8,5	8,5	11	—	Мілс
Плодова гниль	—	18	12	11	5	—	Уівер
Червона плямистість	8 – 9	5	4	3	2	—	Патерило
Мілдью винограду	10,5	7	4,5	2,5 – 3	1 – 1,5	6 – 7	Шанта

Температура середовища впливає також на сприйнятливість рослин до хвороби. Підвищена вона в ослаблених рослин внаслідок невідповідності температури середовища вимогам культури та її сорту. Наприклад, насіння теплолюбних рослин і проростки уражуються сильніше за низької температури ґрунту, менш сприятливої для рослин, ніж для патогенів. Менш теплолюбні, навпаки, чутливіші до ґрунтових патогенів за вищої температури.

Значне зниження температури, її різкі коливання погіршують стан рослин та підвищують їх сприйнятливість до хвороб. Особливо чутливими є рослини на початкових етапах розвитку патологічного процесу.

Вплив температури на стійкість рослин до хвороб, на розвиток останніх позначається й на ступені збігу періодів розсіювання патогенів з тими фазами розвитку рослин, в які вони найбільш чутливі до зараження. Тривалий збіг цих двох періодів призводить до масового розвитку хвороби, обмежений — до її депресії. Чим нижча температура в цей критичний період, тим він триваліший і тим більша вірогідність зараження рослин. Цим пояснюється особливо помітний вплив температури на розвиток хвороб, які уражують сходи і молоді рослини.

Для розрахунку строків появи патогенів на посівах культур, визначення критичного періоду збігу їх розвитку і передбачення шкідливості хвороби доцільно використовувати той самий метод, що й для розрахунку за температурними характеристиками середовища строків появи комах.

У період розвитку грибів у рослині температура має вирішальне значення, особливо тих, які розвиваються протягом кількох діб (іржа хлібних злаків, борошниста роса, мілдью винограду, фітофтороз картоплі, парша яблуні, різні плямистості та ін.).

Тривалість інкубаційного періоду розвитку патогену з підвищенням температури від мінімальної до оптимальної зменшується, аналогічно як і для комах та рослин:

$$n = \frac{\sum t_{\text{еф}}}{\overline{t} - t_{\text{п}}},$$

де n — тривалість інкубаційного періоду, діб; $\sum t_{\text{еф}}$ — сума ефективних температур за період (табл. 5.5), °С; $\overline{t}$ — середня температура періоду, °С; $t_{\text{п}}$ — нижній температурний поріг розвитку виду, °С.

Таблиця 5.5. **Температурні показники для розрахунку тривалості інкубаційного періоду розвитку патогену**

Хвороба	Нижній поріг, ° С	Сума ефективних температур за генерацію	Автор
Лінійна іржа пшениці	2,0	125	Степанов
Бура іржа пшениці	1,9	85	
Стеблова іржа вівса	1,2	117	Агафонов
Карликова іржа ячменю	2,4	86	
Мілдью винограду	8,0	61	Шатський

Тривалість інкубаційного періоду визначається не тільки середнім рівнем температури, а й амплітудою її коливань, що враховують у номограмах.

З підвищенням температури понад оптимальну тривалість інкубаційного періоду обчислюють за формулою

$$n = \frac{\sum t_{\text{еф}}}{t'_{\text{п}} - t},$$

де $t'_{\text{п}}$ — верхній температурний поріг розвитку виду, °С.

У суми ефективних температур не включаються температури за ті дні і години, коли вони виходять за межі мінімального і максимального температурних порогів розвитку виду. Для цього застосовують погодинний розрахунок цих сум або перевідні таблиці.

Тривалість інкубаційного періоду розвитку патогену визначається і сортовими особливостями рослин, їх віком та віком окремих органів — деякі хвороби швидше розвиваються на старих листках (наприклад, церкоспороз цукрових буряків) або на молодих (стеблова іржа).

Плодючість патогену (кількість інфекційного начала, тривалість його дії) також визначається температурою середовища (див. табл. 5.3).

Від температури залежить швидкість розмноження вірусів у рослинах та їхніх переносників. У теплі сухі роки чисельність як вірусоносіїв, так і вірусних хвороб зростає. За помірних зим підвищується ймовірність виживання вірусів в організмах переносників і в диких рослинах — резерваторах.

Волога. Вплив вологості середовища на виникнення і розвиток хвороб виявляється на всіх етапах патологічного процесу, але вирішальне значення має протягом короткого періоду від початку проростання спор до проникнення патогену в рослину. Спори багатьох грибів проростають лише за наявності крапельної вологи (фітофтора картоплі, мілдью винограду, стеблова іржа пшениці, парша яблуні та ін.) за 100%-ї відносної вологості повітря (бура і жовта іржа). Для проростання спор ґрунтових грибів сприятливі умови складаються за неповного насичення ґрунту вологою, але деякі патогени (збудники парші картоплі, кили капусти, снігової плісняви озимих, кореневої гнилі хлібних злаків та ін.) краще розвиваються за підвищеної вологості ґрунту.

Проростання спор деяких грибів (борошнисторосяних) майже не обмежується вологістю середовища, хоча детальним вивченням (П.В. Вольвач) підтверджено, що найінтенсивніше зараження рослин відбувається в нічні години за високої вологості повітря і випадання роси.

Отже, підвищена вологість середовища протягом певного періоду, як уже зазначалось, є необхідною умовою зараження рослин. Вірогідність цього тим вища, чим триваліший період безперервного зволоження, який зазвичай розпочинається у вечірні години і закінчується вранці наступного дня; сприятливо діють дрібні дощі, тоді як сильні забезпечують механічне знищення збудників хвороб.

Число днів з відносною вологістю понад 80 % (n), за якої в приземному шарі повітря створюються сприятливі умови для конденсації вологи, можна розрахувати за середньомісячною відносною вологістю повітря (f, %) за рівнянням

$$n = 0{,}58f - 32.$$

Важливе значення для зараження рослин має роса, хоча вона і зберігається на рослинах не більш як 5 – 8 год. Сприятливі умови для конденсації вологи складаються в понижених місцях рельєфу і на полях, захищених лісовими смугами, а також у густих, добре розвинених, забур'янених посівах, що посилює зараження рослин хворобами.

Після проникнення збудника хвороб у тканини рослин патогенний процес мало залежить від вологості середовища за невеликими винятками (фузаріозне в'янення). Значення вологи знову зростає при

завершенні інкубаційного періоду й на початку утворення спор, яке у більшості грибів відбувається лише за високої вологості середовища. Рівень зволоження визначає і подальшу життєздатність спор.

Вологість середовища впливає і на сприйнятливість рослин до інфекції. Невідповідність вологості вимогам рослин знижує їх стійкість до хвороб, особливо в період появи сходів і висаджування розсади. Деякі гриби сильніше уражують не ослаблені, а добре розвинені рослини (іржа, борошниста роса).

Вплив вологості на розвиток хвороб визначається температурою середовища. За високої температури зараження рослин вище в умовах підвищеної вологості середовища, а зі зниженням температури знижується й оптимальна вологість для перебігу патогенного процесу. Спільний вплив цих двох чинників визначають за індексом схильності рослин до хвороб I, запропонованим Севулеску:

$$I = \frac{r\Delta t}{k},$$

де r — кількість опадів за період розвитку інфекції, мм; Δt — різниця між середньою і мінімальною температурами цього періоду, °С; k — константа періоду (відношення середньої температури до мінімальної кількості опадів).

Волога тепла погода сприяє розвитку більшості хвороб рослин. Деякі хвороби (снігова пліснява, коренева гниль) добре розвиваються у прохолодну погоду і за високої вологості ґрунту.

Світло. Проростання спор більшості грибів і проникнення збудника в тканини рослин практично не залежать від рівня освітлення. Сильне освітлення дещо затримує проростання спор деяких видів грибів (лінійна і бура іржа), інших (тверда сажка, борошниста роса пшениці) — стимулює.

Період зараження рослин складається з двох фаз, які різняться за реакцією на світло: перша — проростання спор — здебільшого не залежить від наявності та інтенсивності світла, друга — після проростання спор — краще відбувається за підвищеного освітлення.

Світло поліпшує умови розвитку хвороб за рахунок збільшення утворення продуктів фотосинтезу, які є джерелом живлення грибів.

Плодючість грибів та життєздатність спор зростають за умов інтенсивного освітлення, але деякі хвороби (гнилі) активніше розвиваються за недостатнього освітлення. В подальшому пряма сонячна радіація знижує життєздатність спор багатьох грибів. Більшість патогенів краще розвивається за звичайної тривалості освітлення і гірше — за безперервного освітлення.

Вітер. Вплив цього чинника виявляється переважно у поширенні хвороб шляхом перенесення спор залежно від швидкості і напрям-

ку вітру та інтенсивності турбулентного перемішування повітря. Чим далі знаходяться посіви від джерела інфекції, тим менші кількість уражених рослин та інтенсивність розвитку хвороби.

5.4. Режими кліматичних чинників

Режим сонячної радіації

Надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню. Кількість сонячної енергії, що надходить на верхню межу атмосфери за одиницю часу на одиничну ділянку, перпендикулярну до напрямку сонячних променів, прийнято називати *сонячною сталою* (S_0). Стандартне значення $S_0 = 1{,}38$ кВт/м^2. Оскільки в більшості районів Землі сонячне випромінювання падає під деяким кутом h_c, який називаю*ть кутовою висотою сонця*, то потік сонячної радіації на горизонтальну поверхню (*інсоляція*) за відсутності атмосфери S'_0 зменшується порівняно з S_0:

$$S'_0 = S_0 \sin h_c,$$

де h_c — функція кута схиляння сонця δ, географічної широти місцевості φ і часового кута, відрахованого від полудня, який залежить від часу доби t та її тривалості Π:

$$\sin h_c = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\left(\frac{2\pi}{\Pi}t\right).$$

Інсоляцію обчислюють також за формулою

$$S'_0 = \frac{S_0}{R^2}\left[\sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\left(\frac{2\pi}{\Pi}t\right)\right],$$

де $R = \frac{r_1}{r_0}$, r_1 і r_0 — відповідно фактична на даний час і середня відстані Землі від Сонця, км;

$$\delta = -0{,}408\cos\left(2\pi\frac{n_д + 10}{365}\right);$$

$n_д$ — номер доби від 1 січня; $\Pi = 24$ год.

На шляху до земної поверхні сонячна радіація істотно ослаблюється і змінює спектральний склад, що зумовлено розсіюванням та поглинанням її молекулами повітря, твердими й рідкими домішками, що містяться в атмосфері. Сонячна радіація з довжиною хвилі $\lambda < 0{,}36$ мкм майже повністю поглинається, переважно озоном.

Інсоляція на підстильну поверхню складається з *прямої* S' та *розсіяної* (дифузної) D радіації, її називають *сумарною*, або *інтегральною,* сонячною радіацією Q (вимірюють у кіловатах на квадратний метр; кВт/м^2). Пряма радіація досягає поверхні Землі у вигляді пучка паралельних променів, розсіяна — розсіюється в атмосфері:

$$Q = S' + D.$$

Величина S' визначається відстанню, яку сонячні промені проходять у земній атмосфері, та її прозорістю:

$$S' = S'_0 p^m,$$

де p — коефіцієнт прозорості атмосфери (відносна частка прямої сонячної радіації, яка досягає поверхні Землі); m — оптична маса атмосфери, тобто співвідношення відстаней, які проходять сонячні промені за фактичної висоти Сонця та висоти 90°. Нижче наведено взаємозалежність значень m і h_c.

h_c	90	75	60	50	45	40	35	30
m	1,00	1,04	1,15	1,30	1,41	1,55	1,74	2,00
h_c	25	20	15	10	5	3	1	0
m	2,36	2,90	3,82	5,60	10,40	15,40	27,00	39,60

Згідно з наведеними даними, зі зменшенням висоти сонцестояння, особливо до 15° і нижче, оптична маса атмосфери збільшується, що істотно знижує надходження прямої радіації. Зростання оптичної маси частково компенсується збільшенням прозорості атмосфери для інтегрального потоку радіації. Це пояснюється тим, що спектральний склад сонячної радіації змінюється: в ній зростає питома частка довгохвильового випромінювання, тобто максимум випромінювання зміщується в бік довгих хвиль, для яких атмосфера більш прозора. Середній коефіцієнт прозорості ідеальної атмосфери зі збільшенням оптичної маси від 1 до 10 зростає з 0,906 до 0,946, а в реальних умовах залежно від її фізичного стану (домішки, вбирні гази) та місцевості коливається від 0,5 до 0,9.

На потік прямої сонячної радіації істотно впливає хмарність.

Першоджерелом розсіяної радіації є пряма сонячна радіація, тому її потік залежить від тих самих чинників, що й S' — висоти сонцестояння, прозорості атмосфери і хмарності. Максимальна енергія в спектрі розсіяної радіації припадає на хвилі завдовжки 0,43 – 0,45 мкм. За безхмарного неба частка розсіяної радіації у сумарній (D/Q) зменшується зі збільшенням висоти сонцестояння h_c:

Висота сонцестояння h_c, град	5	15	25	35	45	90
D*/*Q	1,00	0,32	0,22	0,18	0,16	0,13

Зі збільшенням прозорості атмосфери D/Q зменшується.

Як пряма, так і розсіяна сонячна радіація мають чітко виражений добовий і річний хід із максимумом опівдні та в день літнього сонцестояння. За великого забруднення атмосфери максимум прямої радіації може зміщуватись у бік весняного періоду.

Величину потоку сумарної радіації, що надходить на горизонтальну підстильну поверхню за безхмарного неба Q_0, можна розрахувати за формулою Кондратьєва:

$$Q_0 = \frac{S_0 \sin h_c}{1 + \varepsilon\tau \operatorname{cosec} h_c},$$

де ε — множник, який за різних висот сонцестояння має такі значення:

h_c, град	60	30	15
ε	0,14	0,20	0,24

τ — оптична товщина атмосфери ($\tau = -\ln p$).

За суцільної хмарності потік сумарної радіації зменшується, вона стає розсіяною ($Q_n = D$), а її величина визначається коефіцієнтом ослаблення радіації k_R:

$$Q_0 = D = k_R Q_0;$$

$$k_R = 1 - c_н n_н - c_с n_с - c_в n_в,$$

де $n_н$, $n_с$, $n_в$ — відповідно нижня, середня та верхня хмарність, бали; $c_н$, $c_с$, $c_в$ — відповідні емпіричні коефіцієнти.

Залежність потоку сумарної радіації від хмарності можна подати й так:

$$Q_n = Q_0(1 - dn),$$

або

$$Q_n = Q_0\left[1 - (a - bn)n\right],$$

де Q_0 — потік сонячної радіації за безхмарного неба; n — хмарність; a, b, d — емпіричні коефіцієнти; $b \approx 0{,}38$; a і d — коефіцієнти, що залежать від географічної широти (табл. 5.6).

Таблиця 5.6. **Залежність коефіцієнтів *a* і *d* від географічної широти місцевості**

Коефіцієнт	Широта, град										
	0	10	20	30	40	50	60	70	75	80	85
a	0,38	0,40	0,37	0,36	0,38	0,40	0,36	0,18	0,16	0,15	0,14
d	0,65	0,66	0,67	0,68	0,67	0,64	0,60	0,50	0,45	—	—

Надходження сумарної радіації з урахуванням поглинання і розсіювання в атмосфері за усередненими даними описується рівнянням

$$Q_n = S_0\left(0{,}8 - 0{,}7e^{-a_1 x}\right),$$

де S_0 — сонячна стала; $a_1 = 1{,}0 - 0{,}11\sqrt{e}$; $x = (1{,}1 - n)d$; $n = \dfrac{n_{\text{заг}} + n_{\text{н}}}{2}$ — півсума кількості загальної і нижньої хмарності, од.; e, d — відповідно пружність і дефіцит пружності водяної пари, гПа.

За відсутності даних про вологість повітря користуються формулою

$$Q_n = S_0\left(0{,}80 - 0{,}60n^2\right),$$

згідно з якою земної поверхні досягає від 20 до 80 % сонячної радіації, що потрапляє на верхню межу атмосфери.

Надходження сонячної радіації на поверхню схилу. Потік прямої сонячної радіації, що надходить на поверхню схилу $S_{\text{сх}}$, розраховують за формулою

$$S_{\text{сх}} = S'\left[\cos\beta + \sin\beta \operatorname{ctg} h_{\text{с}} \cos\left(\psi_{\text{с}} - \psi_{\text{сх}}\right)\right],$$

де S' — потік прямої радіації на горизонтальну поверхню; β — кут нахилу схилу; $\psi_{\text{с}}$ і $\psi_{\text{сх}}$ — азимути Сонця і напрямку схилу, які відраховують від меридіана за годинниковою стрілкою; $h_{\text{с}}$ — висота сонцестояння.

Потік розсіяної сонячної радіації на поверхню схилу

$$D_{\text{сх}} = D\frac{(1 + \cos\beta)}{2} \quad (D_{\text{сх}} \approx D),$$

Отже, потік сумарної сонячної радіації на поверхню схилу дорівнюватиме

$$Q_{\text{сх}} = S'\left[\cos\beta + \sin\beta \operatorname{ctg} h_{\text{с}} \cos\left(\psi_{\text{с}} - \psi_{\text{сх}}\right)\right] + D\frac{(1+\cos\beta)}{2}.$$

Зміна спектрального складу сонячної радіації. Як уже зазначалось, проходження сонячної радіації крізь атмосферу супроводжується не тільки ослабленням її потоку, а й зміною спектрального складу. Це пояснюють тим, що розсіювання і поглинання радіації тим більше, чим менша довжина хвилі. В полудневі години максимум енергії випромінювання припадає на синьо-зелені та сині промені. За невеликої висоти сонцестояння вранці та ввечері промені проходять більший шлях, що приводить до порівняно інтенсивнішого розсіювання і поглинання короткохвильової радіації. У зв'язку з цим максимум енергії сонячного випромінювання зміщується в інфрачервону і червоно-жовту ділянки спектра. За зміни висоти сонцестояння від 20 до 90° кількість ультрафіолетових, фіолетових і синіх променів коливається в ширших межах, ніж інфрачервоних і червоно-жовтих. Хмарність особливо сильно зменшує синьо-фіолетову частину розсіяної радіації.

Відбита радіація. Сонячна радіація, яка надходить на підстильну поверхню, частково відбивається. Відношення потоку відбитої радіації до потоку сумарної називають *альбедо* α і виражають у частках одиниці або у відсотках. Величина альбедо залежить від фізичних властивостей підстильних поверхонь (вологості, шорсткості тощо) та висоти сонцестояння. Дані щодо альбедо окремих природних поверхонь наведено в табл. 5.7.

Таблиця 5.7. **Альбедо деяких природних поверхонь**
(за М.І.Будико і В.Л.Гаєвським)

Зид поверхні	Альбедо, од.	Зид поверхні	Альбедо, од.
Сніг і лід		*Поля, луки*	
Свіжий сухий сніг	0,85 – 0,95	Поля жита і пшениці	0,10 – 0,25
Чистий вологий сніг	0,60 – 0,70	Картопляне поле	0,15 – 0,25
Забруднений сніг	0,40 – 0,50	Бавовникове поле	0,20 – 0,25
Морський лід	0,30 – 0,40	Луки	0,15 – 0,25
Голий ґрунт		Сухий степ	0,20 – 0,30
Темний ґрунт	0,05 – 0,15	*Деревна рослинність*	
Вологий сірий ґрунт	0,10 – 0,20	Хвойний ліс	0,10 – 0,15
Сухий глинистий або сірий ґрунт	0,20 – 0,35	Листяний ліс	0,15 – 0,20
Сухий світлий піщаний ґрунт	0,35 – 0,40		

Зі збільшенням висоти сонцестояння $h_{\text{с}}$ і відповідно відношення $\frac{S'}{D}$ альбедо зменшується; цим пояснюють його чітко виражений

денний і річний хід. Найменші значення альбедо фіксують опівдні та влітку.

Підвищення вологості ґрунту призводить до зменшення альбедо і збільшення поглинання сонячної радіації. Аналогічно змінюються альбедо та тепловий режим зі збільшенням шорсткості поверхні. Альбедо водної поверхні менше, ніж суходолу.

Баланс короткохвильової радіації. Поглинену частину сумарної сонячної радіації, або баланс короткохвильової радіації підстильної поверхні Q', визначають за формулою

$$Q' = Q(1-\alpha).$$

Надходження ФАР на підстильну поверхню. Частки ФАР $S'_{\text{ФАР}}$ у прямій радіації (інсоляції) і $D_{\text{ФАР}}$ у розсіяній радіації виражають відповідними коефіцієнтами переходу C_S і C_D:

$$C_S = \frac{S'_{\text{ФАР}}}{S'}; \quad C_D = \frac{D_{\text{ФАР}}}{D}.$$

Встановлено досить тісну залежність C_S від висоти сонцестояння h_c в інтервалі $10-75°$ — зі збільшенням h_c зростає питома частка ФАР у прямій радіації (рис. 5.7).

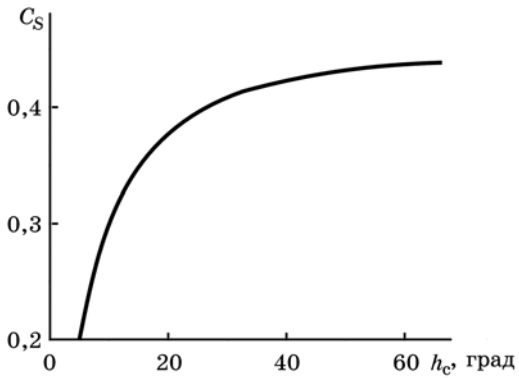


Рис. 5.7. Залежність коефіцієнта C_S від висоти сонцестояння h_c (за Р.О. Полуектовим)

Коефіцієнт переходу C_D також прямо пропорційно залежить від h_c, але його величина змінюється значно меншою мірою, і при розрахунках беруть його середнє значення 0,57.

Щоб перейти від сумарної радіації Q до сумарної ФАР ($Q_{\text{ФАР}}$), скористаємось коефіцієнтом C_Q:

$$C_Q = \frac{C_S S' + C_D D}{S' + D}.$$

Для приблизних розрахунків застосовують формулу

$$Q_{\text{ФАР}} = 0,43S' + 0,57D \approx 0,52Q.$$

Значення альбедо ФАР посівів менше, ніж для сумарної радіації — 0,02 – 0,07.

Режим сонячної радіації посіву. Особливість радіаційного режиму посіву полягає в тому, що частина короткохвильової радіації, яка не відбилась від його верхньої межі, в міру проникнення в глиб посіву поступово ослаблюється внаслідок поглинання і багаторазового відбивання фітоелементами. У зв'язку з цим поверхні ґрунту досягає невелика кількість сонячної радіації (рис. 5.8), у спектральному складі якої переважає зелений колір. Якщо звичайне скло пропускає 90 і відбиває 8 % оптичного випромінювання, то зелений листок — пропускає і відбиває по 10, а поглинає — 80 %.

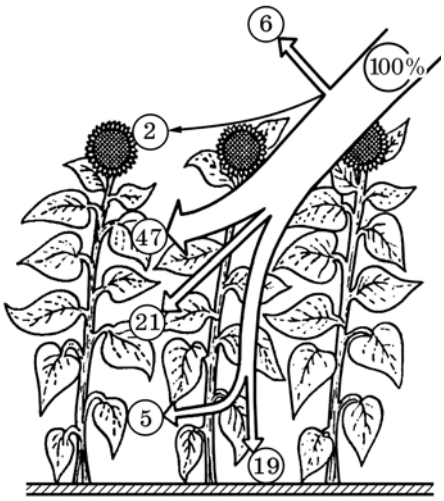


Рис. 5.8. Розподіл ФАР за ярусами листків у посівах соняшнику
(за В. Лархером)

Ступінь ослаблення і пропускання сонячної радіації посівом характеризують коефіцієнтами a_S та a_D відповідно для прямої і розсіяної радіації. Їх значення залежать від архітектоніки рослинного покриву (вертикальної та горизонтальної орієнтації листків, щільності стеблостою), напрямку рядків тощо. Наприклад, для a_S встановлено таку залежність:

$$a_S = e^{-\frac{L'G_l}{\sin h_c}},$$

де L' — листковий індекс посіву в шарі від верхньої межі посіву h_L до певної висоти h; визначають експериментально або розраховують за формулою

$$L' = \int_{h_L}^{h} s dh;$$

s — об'ємна щільність листків, тобто їх площа в одиниці об'єму, $м^2/м^3$ (висока трава — 5; соняшник (45 см) — 0,16, кукурудза (2 – 3 м) — 3 – 6); G_l — функція, яка відповідає середній для всіх листків

проекції площини фітоелементів на поверхню, розміщену перпендикулярно до напрямку сонячних променів (для горизонтального розміщення листків $G_l = \sin h_c$, для сферичного — $G_l = 0{,}5$, для вертикального — $G_l = \frac{2}{\pi}\cos h_c$).

За горизонтальної орієнтації листків коефіцієнт a_D визначають за залежністю

$$a_D = e^{-L'};$$

якщо ж листки орієнтовані рівномірно, то за формулою

$$a_D = 2E_3(0{,}5L'),$$

де E_3 — функція Гольда.

Коефіцієнт ослаблення сумарної радіації a_Q обчислюють за виразом

$$a_Q = \frac{a_S S' + a_D D}{S' + D} = \frac{a_S \frac{S'}{D} + a_D}{1 + \frac{S'}{D}}.$$

Наприклад, напівемпірична формула для визначення цього коефіцієнта для кукурудзи, сорго, ячменю така:

$$a_Q = \frac{\frac{S'}{D} e^{\frac{c_1 L'}{\sin h_c}} + a_D}{1 + \frac{S'}{D}} + c_2 (e^{-c_1 c_3 L' \sin h_c} - e^{-\frac{c_1 L'}{\sin h_c}}),$$

де $c_1 = 0{,}65$; $c_2 = 0{,}30$; $c_3 = 0{,}15$.

Коефіцієнт a_Q прямо пропорційно залежить від співвідношення $\frac{S'}{D}$ і від h_c, тобто за безхмарної погоди і в денні години в глиб посіву проникає більше сонячної радіації, ніж при захмареному небі і в ранкові та вечірні години.

За наявності рослинного покриву поверхні ґрунту досягає кількість радіації

$$Q'_n = Q a_Q (1 - \alpha),$$

де a_Q — коефіцієнт ослаблення радіації рослинами за L' в шарі посіву h_L; α — альбедо посіву.

Головними чинниками, що впливають на величину Q'_n, є $\frac{S'}{D}$ та h_c, від яких залежать значення α та a_Q і які визначаються хмарністю, часом доби та архітектонікою рослинного покриву.

Основна умова максимального поглинання сонячної енергії — оптимальний розвиток асиміляційного апарату, який характеризується *індексом листкової поверхні L*, тобто відношенням сумарної площі листків до одиниці поверхні ґрунту. Важливу роль відіграє архітектоніка рослин — розподіл і розміщення листків у посіві. У разі орієнтації листків у північно-південному напрямку поглинання ними сонячної радіації збільшується і відповідно зростає інтенсивність фотосинтезу.

Передумовою високої продуктивності посіву є швидке вкривання поверхні асиміляційними органами і підтримання цього покриву протягом усього періоду вегетації. Важливими чинниками, що впливають на здатність асиміляційного апарату використовувати сонячні промені для фотосинтезу, є умови мінерального живлення, рівноважний водний баланс, температура.

Тепловий режим

Радіаційний баланс земної поверхні. Баланс радіації є основним кліматичним чинником в агроекосистемі, який:

- визначає розподіл і динаміку температури в ґрунті і приземному шарі повітря;
- є причиною руху повітряних мас;
- зумовлює випаровування води, сніготанення, утворення роси і туманів та ін.

Радіаційний баланс земної поверхні великою мірою визначає її тепловий баланс і складається з балансу короткохвильової радіації, закономірності формування якого наведені вище, та балансу довгохвильової радіації, особливості формування якого розглянемо.

Земля, як і будь-яке тіло з температурою, вищою від абсолютного нуля, випромінює енергію, основна частина якої припадає на інфрачервону ділянку спектра. Максимальна інтенсивність випромінювання припадає на хвилю завдовжки близько 10 мкм. Потік *випромінювання земної поверхні* B_0 можна визначити, спираючись на закон Кірхгофа, за формулою

$$B_0 = \delta\sigma T^4,$$

де T — температура земної поверхні, К; σ — стала Стефана — Больцмана ($\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м^2·К^4)); δ — відносний коефіцієнт ви-

промінювання різних поверхонь, значення якого коливається від 0,95 до 0,99.

Нижче наведено значення коефіцієнтів теплового випромінювання (поглинальної здатності) різних видів природних покривів (поверхонь) (за В.Л. Гаєвським).

Вид поверхні	δ	Вид поверхні	δ
Пісок		Сніг	
сухий	0,949	чистий	0,986
вологий	0,962	забруднений	0,969
Супіщаний ґрунт		Водна поверхня	
сухий	0,954	гладенька	0,893
вологий	0,968	при хвилюванні 4 – 5 балів	0,910
Зелена трава			
густа	0,986		
рідка на вологому і супіщаному ґрунті	0,975		

Потік теплового випромінювання земної поверхні B_0 порівнюваний з потоком сумарної сонячної радіації.

Атмосфера, що отримує енергію як безпосередньо від Сонця, так і від Землі, також випромінює радіацію в інфрачервоному діапазоні. Інтенсивність цього випромінювання залежить від маси термодинамічно активних домішок атмосфери, тобто тих газів, які поглинають енергію, — H_2O, CO_2, O_3 та ін. Оскільки найактивнішим поглиначем енергії є водяна пара, то інтегральне *випромінювання атмосфери* B_a визначають через тиск водяної пари, а вплив інших газів враховують за допомогою коефіцієнтів. Зокрема, для цього придатна емпірична формула Брента:

$$B_a = \sigma T^4 \left(a_1 + b_1 \sqrt{e}\right),$$

де T — температура повітря на висоті 2 м над земною поверхнею (при розрахунках можна вважати, що вона дорівнює температурі верхнього шару ґрунту), К; a_1 і b_1 — коефіцієнти, які залежать від маси інших складових атмосфери (a_1 = 0,5…0,7, в середньому 0,525; b_1 = 0,05…0,08, в середньому 0,065, гПа$^{-1/2}$); $e = \dfrac{fE}{100}$ — пружність (парціальний тиск) водяної пари на висоті 2 м, гПа; f — відносна вологість повітря, %; E — тиск насиченої водяної пари над поверхнею чистої води за відповідної температури, гПа.

Нижче наведено значення тиску насиченої водяної пари E над поверхнею чистої води за різних температур повітря.

***t*, °C**	0	5	10	15	20	25	30	35
***E*, гПа**	6,11	8,74	12,27	17,04	23,37	31,67	42,43	56,23

Щоб обчислити радіаційний баланс підстильної поверхні, треба врахувати ту частину довгохвильового випромінювання, яка спрямована до цієї поверхні, — *потік зустрічного випромінювання атмосфери* δB_a.

Різницю між власним випромінюванням земної поверхні B_0 та зустрічним випромінюванням атмосфери називають *ефективним випромінюванням земної поверхні* B^*, яке обчислюють за формулою

$$B^* = B_0 - \delta B_a.$$

Оскільки температура земної поверхні як правило вища за температуру атмосфери, то здебільшого $B_0 > \delta B_a$ і $B^* > 0$, й отже, земна поверхня втрачає тепло. Ефективне випромінювання чинить значний вплив на температурний режим ґрунту, утворення туманів, приморозків, сніготанення та ін.

На зустрічне випромінювання атмосфери й ефективне випромінювання земної поверхні загалом значно впливає хмарність, особливо нижнього та середнього ярусів. З її збільшенням зустрічне випромінювання атмосфери зростає, а ефективне випромінювання поверхні зменшується. Ефективне випромінювання за хмарного неба B_n^* обчислюють за формулою

$$B_n^* = B^*(1 - \overline{cn}),$$

де B^* — ефективне випромінювання за безхмарного неба; $\overline{n}$ — середньовиважена хмарність нижнього, середнього і верхнього ярусів, од.; $\overline{c}$ — середньовиважений емпіричний коефіцієнт для всієї хмарності (в теплу пору року на широті 50 – 60° $\overline{c}$ = 0,77, на широті 40 – 50° $\overline{c}$ = 0,71).

Ефективне випромінювання має виражений добовий і річний хід, оскільки випромінювання земної поверхні визначається її температурою, яка характеризується добовою й сезонною динамікою і є мінливішою складовою, ніж зустрічне випромінювання атмосфери. Амплітуда та величина ефективного випромінювання протягом доби зменшуються за хмарного неба.

Радіаційний баланс земної поверхні, який складається з балансів коротко- і довгохвильової радіації, описує формула

$$R = Q(1 - \alpha) + \delta B_a - B_0,$$

або

$$R = Q(1 - \alpha) - B^*,$$

де витратною статтею є лише випромінювання поверхні B_0.

Отже, радіаційний баланс характеризується добовим і річним ходом і змінюється залежно від географічної широти місцевості, часу доби і пори року, характеру і фізичного стану поверхні, хмарності, вологості повітря та ін. Він може бути від'ємним або додатним. Перехід радіаційного балансу через 0 відбувається за висоти сонцестояння 10 – 15°. Зі збільшенням висоти сонцестояння радіаційний баланс зростає, зі збільшенням альбедо — спадає. Підвищення вмісту в повітрі CO_2, який пропускає УФ-промені і поглинає ІЧ-промені, спричинює збільшення радіаційного балансу і формування так званого парникового ефекту.

У денний час радіаційний баланс зі збільшенням хмарності знижується, оскільки зменшення потоку сумарної радіації значніше порівняно зі зменшенням ефективного випромінювання.

Вночі і взимку, коли радіаційний баланс від'ємний, хмарність призводить до зменшення ефективного випромінювання, що супроводжується збільшенням радіаційного балансу.

Тепловий баланс підстильної поверхні. Поверхню між двома елементами системи, в якій відбувається теплообмін через випромінювання, називають *активною*. Для ґрунту — це його поверхня.

Під впливом випромінювання між підстильною поверхнею, глибшими шарами ґрунту та приземним шаром атмосфери відбувається теплообмін, фізичний зміст якого передає рівняння теплового балансу підстильної поверхні:

$$R = qE + Q_т + Q_г + B_к + M + N + F,$$

де R — радіаційний баланс підстильної поверхні; qE — потік прихованого тепла, пов'язаний із фазовими переходами води; E — турбулентний потік вологи, кг/(м^2·с); q — питома теплота пароутворення або конденсації, кДж/кг; $Q_т$ — турбулентний потік тепла (переважно вертикальний); $Q_г$ — потік тепла між підстильною поверхнею і нижче розміщеними шарами ґрунту; $B_к$ — витрати тепла на танення снігу і льоду; M — тепло, що переноситься опадами; N — тепло, пов'язане з розсіюванням кінетичної енергії під час тертя повітря об підстильну поверхню; F — біологічний теплообмін, пов'язаний із перетворенням радіаційної енергії на хімічну енергію органічних сполук у процесі фотосинтезу і виділенням тепла внаслідок їх окиснення.

Значення складових частин теплового балансу виражають у кіловатах на квадратний метр, а добові, місячні і річні значення — у мегаджоулях на квадратний метр.

Взявши до уваги, що значення останніх чотирьох статей порівняно невеликі, рівняння теплового балансу можна записати так:

$$R = qE + Q_т + Q_г,$$

тобто радіаційний баланс компенсується витратами тепла на випаровування (або навпаки, його припливом під час конденсації), турбулентним потоком тепла і перенесенням його в шари ґрунту, розміщені нижче.

Витрати тепла на випаровування, або потік прихованого тепла (qE), визначають за добутком прихованої теплоти пароутворення q (2,501 МДж/кг) на швидкість випаровування E (кг/(м^2·с) або мм/с). Остання залежить від швидкості вітру, шорсткості поверхні та характеру її зволоження, типу рослинності, стратифікації приземного шару повітря і визначається за формулою

$$E = -\rho k\left(-\frac{\partial S}{\partial z}\right)\frac{e}{p},$$

де ρ — густина повітря, кг/м^3; k — коефіцієнт турбулентності, м^2/с; $-\frac{\partial S}{\partial z}$ — вертикальний градієнт питомої вологості повітря, 1/м; e — пружність (парціальний тиск) водяної пари, гПа; p — тиск повітря, гПа; S — питома вологість повітря ($S \approx 0{,}622\frac{e}{p}$, г/г, або $622\frac{e}{p}$ г/кг); z — висота над поверхнею ґрунту, м.

Процеси фазових переходів води мають велике значення для енергетичного балансу агроекосистеми. Близько 30 % сонячної радіації, поглиненої ґрунтом, витрачається на випаровування вологи.

Потік прихованого тепла може бути спрямований як вгору (випаровування за додатного градієнта питомої вологості повітря), так і вниз (конденсація водяної пари за від'ємного градієнта), тобто відповідно $qE > 0$ і $qE < 0$.

Турбулентний потік тепла виникає за вертикального градієнта температури повітря. Для його розрахунку використовують формулу

$$Q_{\text{т}} = -\rho c_p k\left(\frac{\partial T}{\partial z} + \gamma_{\text{а}}\right), \text{ або } P = \rho c_p k\left(-\frac{\partial T}{\partial z} - \gamma_{\text{а}}\right),$$

де ρ — густина повітря за нормальних умов (ρ = 1,292 кг/м^3); c_p — питома теплоємність сухого повітря за сталого тиску (c_p = = 1006 Дж/(кг·К)); $k = k_1\frac{z}{z'}$ — коефіцієнт турбулентної дифузії (турбулентності), прямо пропорційний швидкості вітру і залежить від властивостей земної поверхні, м^2/с; k_1 — коефіцієнт турбулентності на висоті 1 м; z — висота, м; z' — висота 1 м; $-\frac{\partial T}{\partial z}$ — вертикальний

градієнт температури, К/м; γ_a — сухоадіабатичний градієнт (γ_a = = 0,98 ≈ 1 К/100 м); у приземному шарі градієнт T значно більший за γ_a.

Для визначення k_1 можна скористатися формулою Тимофеєва:

$$k_1 = \frac{0{,}16u_1}{\ln\dfrac{z_1}{z_0}}\left(1 + 7{,}5\frac{\Delta t}{u_1^2}\right)z',$$

де u_1 — швидкість вітру на висоті 1 м, м/с; t — різниця температур на висоті 0,5 – 2,0 м, °С; z_0 — параметр шорсткості за рівноважних умов, м (для трави заввишки до 6 см дорівнює 0,01 м, 6 – 15 см — 0,02 м, 16 – 25 см — 0,03 м, 26 – 35 см — 0,04 м; для ґрунту ущільненого без покриву — 0,01 м, ґрунту розпушеного без покриву — 0,02 м).

Отже, турбулентний потік тепла залежить від інтенсивності турбулентного перемішування і стратифікації атмосфери і може бути додатним (підстильна поверхня втрачає тепло, наприклад влітку вдень) або від'ємним (потік тепла спрямований від атмосфери до підстильної поверхні, наприклад влітку вночі).

Потік тепла між підстильною поверхнею і шарами ґрунту, розміщеними нижче. Тепло, яке надійшло до підстильної поверхні, поширюється в глиб ґрунту шляхом молекулярної теплопровідності. Потік тепла на глибині пропорційний вертикальному градієнту температури $\dfrac{\partial T}{\partial x}$ і залежить від теплофізичних характеристик ґрунту:

$$Q_г = -\lambda\frac{\partial T}{\partial x} = -c_m\rho^* k_т\frac{\partial T}{\partial x},$$

де λ — коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·К); c_m — питома теплоємність ґрунту, Дж/(кг·К); ρ^* — щільність ґрунту, кг/м^3; $k_т$ — коефіцієнт температуропровідності ґрунту, м^2/с.

Питома теплоємність ґрунту — це кількість тепла, потрібна для підвищення температури 1 кг або 1 м^3 ґрунту на 1 град. Розрізняють масову c_m та об'ємну c_V теплоємності, які пов'язані між собою залежністю

$$c_V = \rho^* c_m.$$

Теплоємність ґрунту визначається його складом. Важливим чинником, що впливає на зміну теплоємності ґрунту, є його вологість, яка коливається залежно від кількості опадів, випаровування тощо.

Коефіцієнт теплопровідності ґрунту λ відповідає кількості тепла, яке проходить через ґрунт площею 1 м^2 на відстань 1 м за 1 с за перепаду температур 1 град/м. Найбільшою мірою теплопровідність ґрунту залежить від його поруватості.

Основні теплофізичні характеристики ґрунту зв'язані між собою рівнянням

$$k_{\text{т}} = \frac{\lambda}{c_V} = \frac{\lambda}{c_m \rho^*}.$$

Теплові властивості ґрунту визначаються теплофізичними характеристиками окремих його компонентів (табл. 5.8) та низкою чинників, найважливішими з яких є щільність і вологість.

Таблиця 5.8. **Теплофізичні характеристики деяких компонентів ґрунту за 10 °С (льоду і снігу — за 0 °С)**

Речовина	Теплоємність		Коефіцієнт теплопровідності $\lambda \cdot 10^6$, Вт/(м·К)
	масова $c_m \cdot 10^3$, Дж/(кг·К)	об'ємна $c_V \cdot 10^6$, Дж/(м^3·К)	
Кварц	0,84	2,09	8,80
Глинисті мінерали	0,96	2,09	2,93
Органічна речовина	2,01	2,51	0,25
Вода	4,19	4,19	0,57
Повітря	1,00	0,0012	0,03
Лід	2,14	1,88	2,18
Сніг	2,14	0,12	0,06

Залежність теплофізичних характеристик ґрунту від його вологості складна (рис. 5.9), що зумовлює велику різноманітність теплових полів.

Питома теплоємність ґрунту лінійно залежить від його вологості:

$$c(w) = c_s \rho^* + c_w w,$$

де c_s і c_w — питома теплоємність відповідно твердої фази і води; ρ^* — відносна щільність ґрунту; w — вологість ґрунту.

Теплопровідність ґрунту λ зі зростанням вологості також збільшується, але не лінійно: за низької і високої вологості менше, ніж за середньої:

$$\lambda(w) = c(w)\left[\lambda_1 (w - \lambda_4)^2 + \lambda_2 \rho_s + \lambda_3\right],$$

де λ_1, λ_2, λ_3 і λ_4 — коефіцієнти, значення яких наведено в табл. 5.9.

Найбільш теплоємним компонентом ґрунту є вода, кількість якої в основному визначає формування його теплового і температурного режимів. Теплофізичні характеристики зв'язаної ґрунтової вологи значно різняться від аналогічних характеристик рухомої вологи: температура замерзання — близько –70 °С, менші її тепло- і температуропровідність.

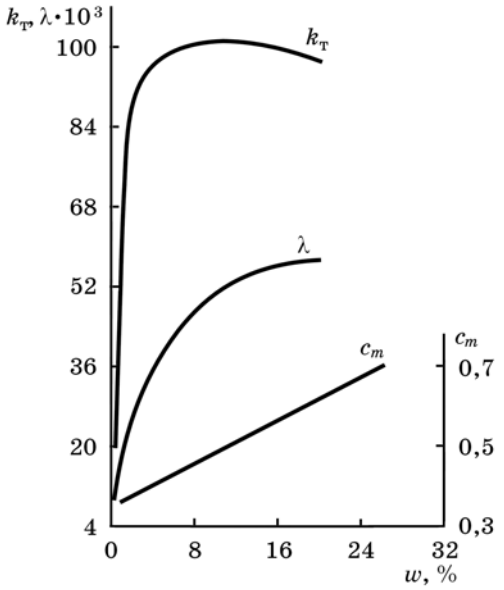


Рис. 5.9. Залежність теплофізичних характеристик ґрунту від його вологості
(за А.Ф. Чудновським)

Повітря має найменші теплоємність і теплопровідність і є теплоізолятором, тому зі збільшенням поруватості ґрунту його теплопровідність знижується, особливо за зменшення вологості ґрунту. Оскільки поруватість ґрунту та його вологість змінюються з глибиною і в часі, то й коефіцієнт теплопровідності і теплоємність є змінними і також визначаються глибиною x і часом t.

Таблиця 5.9. **Коефіцієнти, що визначають залежність теплопровідності ґрунту від вологості**
(за Д.О. Куртенером, А.Ф. Чудновським)

Тип, підтип ґрунту	$\lambda_1 \cdot 10^4$	λ_2	λ_3	λ_4
Звичайний чорнозем	130	3,1	1,21	0,2
Темно-каштановий	170	2,2	1,90	0,18
Сірозем	62	2,7	0,2	0,18
Південний чорнозем	104	2,4	0,68	0,20
Дерново-глеюватий	200	3,1	1,40	0,20

Мінеральна частина ґрунту порівняно з органічною частиною характеризується вищою теплопровідністю і нижчою теплоємністю, тому ґрунти з більшим вмістом органічної речовини повільніше прогріваються й охолоджуються. Сухі, дуже поруваті ґрунти (сухі торфовища, піщані, леси та ін.) сильніше нагріваються на поверхні, але запасають мало тепла в глибині. Їх називають *теплими*. Вологі

ґрунти (лучні, торфовища) накопичують більше тепла, але через кращу передачу тепла нижчим шарам вони холодні на поверхні. Навесні такі ґрунти прогріваються довше, але восени охолоджуються пізніше. Їх називають *холодними*.

Градієнт температури мінливий у часі. Він прямо пропорційно залежить від амплітуди коливання радіаційного балансу поверхні й обернено пропорційно — від вологості ґрунту і повітря, інтенсивності турбулентного обміну в приземному шарі повітря.

Зі зниженням температури ґрунту з глибиною (і відповідно, за додатного градієнта температури) потік тепла спрямований в глиб ґрунту ($Q_г > 0$), і навпаки. Коли потік тепла спрямований від поверхні в глиб ґрунту, такий тип випромінювання називають *типом інсоляції* (день, літо). Коли поверхня ґрунту холодніша, ніж нижче розміщені шари, потік тепла спрямований у протилежний бік; у цьому разі йдеться про *радіаційний тип випромінювання* (ніч, зима).

Закономірності добових та річних коливань температури ґрунту. Температура ґрунту зазнає добових та річних коливань, які мають циклічний характер і спостерігаються як на поверхні, так і в глибині. Головною причиною коливання температури ґрунту є зміна інтенсивності сонячної радіації, яка поглинається шаром ґрунту завтовшки в частки міліметра. Поверхня ґрунту є джерелом тепла для нижче розміщених його шарів. Затухання і запізнення коливань температури з глибиною пов'язані з акумуляцією або втрачанням тепла ґрунтом. На всіх глибинах температура змінюється як функція часу.

Відхилення, або амплітуда, температури земної поверхні $A_r(0,t)$ чи прилеглого шару повітря $A_п(0,t)$ в момент часу t описується формулою

$$A_r(0,t) = A_п(0,t) = \frac{R_1}{\sqrt{\omega}(c_p\rho\sqrt{k} + c_m\rho^*\sqrt{k_т})}\cos\omega\left(t - t_м - \frac{П}{8}\right),$$

де R_1 — добова амплітуда радіаційного балансу земної поверхні, кВт/м^2; $\omega = 7{,}292\cdot10^{-5}$ с$^{-1}$ — кутова швидкість добового обертання Землі; $П$ — тривалість доби, год; c_p і c_m — питома теплоємність відповідно вологого повітря і ґрунту, Дж/(кг·К) (c_p = 1,05 кДж/(кг·К) за температури 10 °С); ρ і ρ^* — щільності відповідно повітря і ґрунту, кг/м^3; k і $k_т$ — коефіцієнти температуропровідності відповідно повітря і ґрунту, м^2/с; $t_м$ — час настання максимуму радіаційного балансу (близький до місцевого полудня).

Згідно з цією формулою, відхилення температури прямо пропорційно залежить від добової амплітуди радіаційного балансу й обер-

нено пропорційно від температуропровідності і теплоємності ґрунту (зокрема, від вологості). Оскільки на амплітуду радіаційного балансу впливають пора року, рельєф місцевості, наявність рослинного чи снігового покриву, хмарність, ці чинники визначають і амплітуду температури ґрунту.

Температура поверхні ґрунту мінімальна перед сходом сонця, потім вона починає підвищуватись і досягає максимуму на $П/8 = 3$ год пізніше від максимуму радіаційного балансу, який фіксують опівдні.

За високої вологості ґрунт нагрівається менше, оскільки більше тепла витрачається на випаровування води.

За ясної тихої погоди на полях зі слабко розвиненою рослинністю різниця температур поверхні ґрунту на північному і південному схилах досягає 10 – 12 град.

Рослинний покрив захищає ґрунт від надмірного нагрівання: добова амплітуда температури при цьому зменшується, як і за хмарної погоди.

За позитивного радіаційного балансу температура ґрунту з глибиною знижується (вдень), а за негативного — зростає (вночі). Загалом середньодобова температура влітку з глибиною знижується, а взимку — зростає.

Закономірності коливань температури ґрунту сформулював Фур'є у чотирьох законах.

1. Період коливань температури ґрунту не залежить від глибини та його фізико-хімічних властивостей. Добовий термальний цикл триває 24 год, річний цикл — 12 міс.

2. Амплітуда коливання температури ґрунту зі збільшенням глибини в арифметичній прогресії зменшується в геометричній (рис. 5.10).

Добова амплітуда на глибині 70 – 100 см відсутня, але характеризується вираженим сезонним ходом з мінімумом наприкінці березня і максимумом наприкінці серпня. Річна амплітуда в полярних ши-

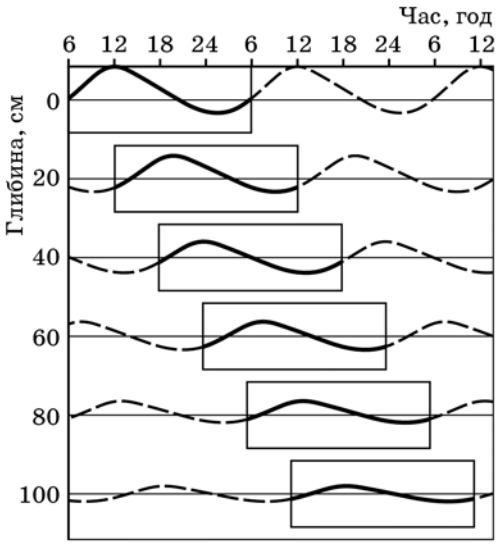


Рис. 5.10. Добова зміна температури ґрунту залежно від глибини (за І. Томанеком, 1966)

ротах зберігається до глибини 30 м, у помірних широтах — до 15 – 20 м, на екваторі — до 10 м. Шар ґрунту, температура якого зазнає добових і річних коливань, називають *активним*.

3. Строки досягнення максимальних і мінімальних температур пропорційні глибині. Добові максимуми і мінімуми затримуються на 2,5 – 3,5 год на 10 см глибини, а річні — на 20 – 30 діб на 1 м глибини.

4. Співвідношення глибин шарів ґрунту зі сталими (стабільними) добовою та річною температурами дорівнює співвідношенню квадратних коренів періодів їх коливань. Постійне значення річної температури встановлюється на глибині в $\sqrt{365} \approx 19$ разів більшій, ніж постійне значення добової температури.

На розподіл температури ґрунту впливають рослини. Влітку основну роль у нагріванні ґрунту відіграє сонячна радіація. Вдень приплив тепла в ґрунт внаслідок поглинання частини сонячної радіації рослинами зменшується, а вночі втрати тепла знижуються за рахунок зменшення рослинами його ефективного випромінювання. Відповідно температура ґрунту під рослинним покривом вдень нижча, ніж оголеного ґрунту, а вночі, навпаки, — вища. Так, під посівами кукурудзи температура поверхні ґрунту опівдні може бути на 15 град нижчою, ніж на відкритій ділянці.

Температурний режим ґрунту взимку. Клімат ґрунту взимку має велике значення для перезимівлі сільськогосподарських культур, впливає на накопичення ґрунтової вологи, строки початку весняних польових робіт, тривалість вегетації і в підсумку — на урожай сільськогосподарських культур. У поверхневому шарі ґрунту розміщені важливі органи рослин, які зимують: вузли кущіння озимих зернових (0,5 – 7 см від поверхні ґрунту), кореневі шийки багаторічних бобових трав (2 – 5 см), коренева система винограду, плодових та ягідних культур (20 – 25 см). Зниження температури поверхневих шарів ґрунту нижче від критичної призводить до сильних пошкоджень або й повної загибелі рослин.

Специфічним явищем теплового режиму ґрунту взимку є тимчасове формування мерзлого шару, що крім гідротермічного значення з агрономічного погляду має і господарське значення, оскільки визначає несівну здатність ґрунту під час зимових польових робіт.

Промерзання ґрунту є результатом дії зовнішніх чинників, які визначають відплив тепла від поверхні ґрунту, і внутрішніх — інтенсивності теплопередачі та її напрямку, а також створення додаткових джерел тепла в результаті фазових перетворень води за температури –0,5…–1,5 °С. Глибина промерзання ґрунту залежить від тривалості і значень низьких температур, гранулометричного складу, вмісту органічної речовини, вологості, щільності ґрунту, характеру рослинного покриву, часу початку утворення стійкого снігового покриву та його висоти.

Взимку головним чинником, який визначає температуру ґрунту, є випромінювання, тому під рослинним покривом температура вища. Однак взимку важливішу роль у формуванні теплового режиму відіграє сніг. Він сильно відбиває сонячну радіацію і водночас має високу випромінювальну здатність, тому радіаційний баланс снігового покриву, як правило, негативний, що й призводить до його сильного охолодження. Однак через низьку теплопровідність температура всередині шару снігу різко зростає з глибиною, тому температура поверхні ґрунту під снігом вища за температуру поверхні без снігового покриву. Глибина промерзання ґрунту під снігом у 2 – 3 рази менша, ніж за його відсутності.

Амплітуда середніх мінімальних температур ґрунту під сніговим покривом завтовшки 30 – 50 см вдвічі менша, ніж на оголеній ділянці, і втричі менша, ніж у повітрі на висоті 2 м, а добові коливання температури ґрунту досягають лише глибини 20 – 30 см.

Ущільнення снігу призводить до збільшення його теплопровідності і поліпшення теплообміну між ґрунтом і приземним шаром повітря, в результаті чого різниця їх температур зменшується, як і при зменшенні товщини снігового покриву.

Ранньовесняне розмерзання ґрунту — такий самий багатофакторний процес, як і промерзання, і полягає у переході води з твердого стану в рідкий. Цей процес відбувається за умови, що приплив тепла до мерзлого шару перевищує його втрати. Різниця кількостей тепла між ними використовується на танення сезонної мерзлоти. Приплив тепла з нижніх шарів ґрунту порівняно невеликий, і розмерзання ґрунту відбувається переважно за рахунок сонячної радіації. За наявності снігового покриву на його танення витрачається додаткова кількість тепла. Крім того, сніговий покрив внаслідок його поганої теплопровідності гальмує прогрівання ґрунту. Під час відлиг узимку це запобігає передчасному пробудженню рослин. Затримання розмерзання ґрунту навесні призводить до сповільнення його зволоження, пізнішого початку весняних польових робіт, тоді як на оголених ділянках поля температура ґрунту помітно вища, що дає змогу раніше вийти в поле.

Керування температурним режимом ґрунту. Існують такі шляхи оптимізації температурного режиму ґрунту:

1) зміна теплообміну між ґрунтом і повітрям за допомогою різних теплоізоляцій;

2) зміна альбедо (розпушування, зміна кольору поверхні — мульчування);

3) зволоження чи висушування ґрунту.

Внаслідок ущільнення температура ґрунту знижується на 1 – 2 град, а розпушування на 2 – 4 см призводить до зниження температури нижче розміщеного шару на 1 – 3 град.

Температура ґрунту зрошуваних полів на поверхні знижується на 15 – 20 град, на глибині 10 см — на 5 – 7, на глибині 20 см — на 2 – 3 град. Температура ґрунту на осушених ділянках в літній період підвищена.

Мульчування здійснюють за допомогою різних барвників, піску (на темних ґрунтах) або подрібненого торфу (на світлих), полімерних плівок, мульчувального паперу, соломи, листя та інших речовин і матеріалів. Мульчуванням змінюють температуру поверхні ґрунту на 4 – 7 град, а застосуванням поліетиленових плівок — на 10 – 15 град.

Створенням гребеневої поверхні підвищують поглинання сонячної радіації, зменшують вологість ґрунту, в результаті чого температура ґрунту зростає.

Під впливом лісосмуг та куліс із високостеблових рослин температура ґрунту підвищується, оскільки через ослаблення вітру зменшується турбулентний обмін повітря.

Основні принципи регулювання температурного режиму ґрунту взимку такі:

1) висота снігового покриву має бути диференційованою залежно від холодостійкості культур та сортів, умов сівби, стану посівів на початок зими; як недостатня, так і надмірна товщина снігового покриву негативно позначається на зимуючих рослинах; у першому випадку небезпека загибелі рослин внаслідок зниження температури нижче від критичної, в другому — внаслідок випрівання чи вимокання рослин;

2) сніг має накопичуватись якомога раніше, щоб запобігти глибокому промерзанню ґрунту; навесні такий ґрунт відтане раніше і поверхневий стік буде меншим, оскільки більша частина води утримається ґрунтом;

3) сніговий покрив має залягати рівномірно по всій площі, що забезпечить однакові температурний і водний режими, добру перезимівлю рослин на всьому масиві, а також можливість суцільного проведення польових робіт навесні.

Тепловий режим приземного шару повітря. Стан приземного шару повітря (завтовшки 50 – 100 м) чинить великий вплив на рослинні і тваринні організми, ґрунт. Він тісно пов'язаний зі станом земної поверхні, чим істотно різниться від вище розміщених шарів атмосфери, і вертикальні градієнти метеорологічних величин у ньому значно більші (можуть досягати і перевищувати 300 град/м).

Приземний шар повітря в основному отримує тепло від земної поверхні. Перенесення тепла від земної поверхні до атмосфери та всередині неї відбувається шляхом:

- конвективного і турбулентного теплообміну;

• фазових перетворень води (випаровування, замерзання, конденсування пари);

• випромінювання та поглинання радіації;

• молекулярного теплообміну.

Конвективний потік тепла $Q_к$ зумовлений упорядкованим переміщенням повітря:

$$Q_к = c_p \rho T u,$$

де $Q_к$ — потік тепла, Дж/(м^2·с)(Вт/м^2); c_p — питома теплоємність повітря за сталого тиску (для сухого повітря $c_p = 1005$ Дж/(кг·К)); ρ — щільність повітря, кг/м^3; T — температура повітря, К; u — швидкість вітру, м/с.

Конвекція переважно відбувається в горизонтальному напрямку (*адвекція*), а власне *конвекцією називають вертикальний потік тепла внаслідок підіймання вгору легшого прогрітого повітря*.

Турбулентний потік тепла $Q_т$ зумовлений хаотичним рухом часточок повітря.

Вертикальний турбулентний потік тепла $Q_т$ розраховують за формулою

$$Q_т = -c_p \rho k \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \gamma_а \right),$$

де k — коефіцієнт турбулентності, м^2/с; $\gamma_а$ — сухоадіабатичний градієнт ($\gamma_а$ = 0,98 град/100 м); z — висота, м.

Найважливішою відмінністю приземного шару повітря є те, що турбулентний потік тепла в його межах практично не змінюється з висотою (коефіцієнт k збільшується, але вертикальний градієнт температури $\left(-\frac{\partial T}{\partial z} + \gamma_а \right)$ — зменшується (так звана *квазістаціонарність*).

Горизонтальний турбулентний потік тепла Q^l розраховують за формулою

$$Q^l = -c_p k^l \left(\frac{\partial T}{\partial l} + \gamma_а \right) \approx -c_p k' \frac{\partial T}{\partial l},$$

де k' — коефіцієнт горизонтального турбулентного теплообміну, кг/(м·с); l — відстань по горизонталі, м.

Молекулярний теплообмін важливий для припливу тепла до тонкого шару повітря, який безпосередньо прилягає до земної поверхні. Оскільки поглинання повітрям сонячної радіації вдень та його власне випромінювання неістотно впливають на температуру повітря,

основною причиною її добових коливань у рівноважних умовах є теплообмін між земною поверхнею та приземним шаром атмосфери, провідна роль в якому належить турбулентному обміну. Добова динаміка та вертикальний розподіл температури приземного шару повітря в зв'язку з його фізичними особливостями і мінливістю інших визначальних чинників істотно різниться від добової динаміки та вертикального розподілу температури ґрунту, розглянутих вище.

Розподіл температури приземного шару повітря та її добові коливання зумовлені переважно радіаційним і турбулентним припливом тепла; певну роль відіграють адвективний і конденсаційний припливи тепла.

Двом основним періодам доби відповідають два основні типи вертикального розподілу температур. Крім того, можливі проміжні типи, що характеризують особливі стани в термальних режимах приземних шарів атмосфери (рис. 5.11). Детальніше вони розглянуті нижче.

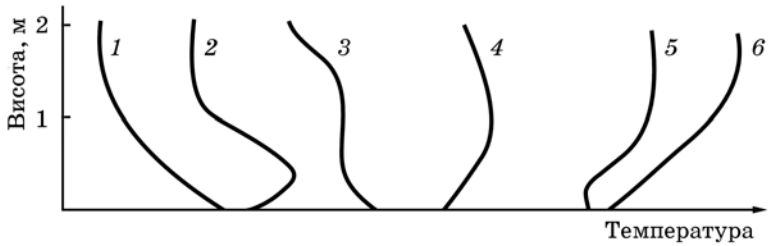


Рис. 5.11. Види розподілу температури в приземному шарі повітря на території без рослинності (за Р. Гейзером, 1959):

1 — інсоляційний у сонячний полудень; *2* — вранішній у період випаровування роси; *3* — турбулентний у полудень; *4* — у надвечірні години; *5* — пізно ввечері в момент випадання роси; *6* — радіаційний у нічний час

Інсоляційний розподіл. Повітря нагрівається від ґрунту. В міру віддаляння від поверхні температура повітря знижується і на висоті 1 м стає стабільною. Типовий для денного часу.

Радіаційний розподіл. Формується в умовах вільного випромінювання тепла з поверхні ґрунту за безхмарного неба. В результаті прилеглі до ґрунту шари повітря охолоджуються, й тому мінімальні температури спостерігаються біля поверхні ґрунту. Вище починається їх зростання і на висоті близько 1 м вони стабілізуються. Типовий для нічного часу.

Температура повітря в приземному шарі розподіляється за логарифмічним законом і приблизно описується рівнянням

$$T_z = T_1 - \frac{Q_т}{c_p \rho_0 a} \ln \frac{z + z_0}{z_1 + z_0},$$

де T_z і T_1 — температура повітря відповідно на довільній висоті z та на деякій висоті z_1, де вона виміряна досить точно, м (як правило, на висоті 0,5 м; температура повітря в безпосередній близькості від земної поверхні вимірюється з великою похибкою), К; $Q_т$ — турбулентний потік тепла в приземному шарі атмосфери, Вт/м^2; c_p — питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К); ρ_0 — щільність повітря біля земної поверхні ($\rho_0 \approx 1{,}2$ кг/м^3); a — параметр залежності коефіцієнта k від висоти ($k = k_0 + az$); z_0 — параметр шорсткості, м (для більшості поверхонь, наприклад снігу, культурної рослинності, ґрунту, має величину порядку 10^{-2} м, для лісу, населених пунктів — кілька метрів).

За $Q_т > 0$, що спостерігається вдень, температура з висотою знижується, а за $Q_т < 0$ (вночі) — зростає, що підтверджує принципи основних типів розподілу температур.

Дещо складніший розподіл температури повітря з висотою в перехідні періоди доби.

Вранішній розподіл. Пов'язаний з випаровуванням роси внаслідок підвищення температури ґрунту і повітря. Температура в прилеглому до ґрунту шарі повітря завтовшки у кілька десятків сантиметрів розподіляється за типом інверсії, тобто з висотою зростає. У вищих шарах вона постійно знижується, як при інсоляційному розподілі.

Турбулентний розподіл. Складається в полуденні години за сильної інсоляції. Внаслідок нагрівання поверхні турбулентність посилюється, шари повітря до певної висоти перемішуються і температура вирівнюється. Найвищу температуру повітря реєструють біля поверхні ґрунту, до висоти 1,5 – 2 м — вона стала (ізотермічний шар), ще вище — знижується.

Явища раптових зростань температури повітря залежно від висоти називають *температурними інверсіями*. Їх можна розділити на два типи: приґрунтову та інверсію у вільній атмосфері.

Приґрунтова інверсія виникає в разі сильного випромінювання тепла поверхнею землі. Охолоджуються не тільки поверхня ґрунту, а й прилеглі до неї шари повітря. Вище них вплив холодного ґрунту на температурі повітря не позначається. Нічні приґрунтові інверсії пов'язані з безхмарною і безвітряною погодою. Часто супроводжуються приморозками.

Інверсія у вільній атмосфері має місце на висоті від кількох сотень метрів до 2 км. Як правило, пов'язана з антициклонами. В результаті низхідного руху повітря шар атмосфери стискається, причому температура повітря у верхніх частинах шару підвищується більше, ніж у нижніх.

Відхилення від нормального та інверсійного розподілу температур, для якого характерна сталість температури від поверхні ґрунту до висоти 1,5 – 2,0 м, називають *приземною ізотермією*. Вона виникає в результаті турбулентних переміщень повітря або переходу інсоляційного розподілу температур у радіаційний.

Розподіл надвечір'я. Спостерігається при переході від інсоляційного розподілу температур до радіаційного, при цьому випромінювання енергії поверхнею ґрунту компенсується її припливом із сонячним випромінюванням. У результаті температура повітря тимчасово вирівнюється. Найвища температура утримується на висоті 1 м, вище і нижче вона дещо менша.

Розподіл пізньовечірній. Зумовлений утворенням роси на поверхні ґрунту і виділенням тепла в навколишнє середовище. Це призводить до короткочасного підвищення температури в нижніх шарах повітря *(мала інверсія*). Вертикальний розподіл температур наближається до радіаційного.

Тепловий обмін наземних екосистем ускладнюється наявністю рослинності, тому в фітоценозі можуть спостерігатися значні відхилення від вертикального розподілу температур, характерного для ділянок без рослинності. Це пов'язано з утворенням нової активної поверхні, функції якої виконує поверхня рослинного покриву, а також з густотою рослинності, яка перешкоджає зародженню турбулентних рухів повітря. Останнє ускладнює теплообмін між окремими шарами атмосфери і призводить до зниження температури від верхнього краю рослинного покриву до поверхні ґрунту (інверсія).

Рослинний покрив чинить термостатичний вплив на шари повітря між його верхньою межею та поверхнею ґрунту, що особливо характерно для високих фітоценозів (ліси, сади).

З висотою змінюється не тільки температура, а й амплітуда її добових коливань. За врахування лише турбулентного припливу тепла з висотою амплітуда коливань температури змінюється за експоненціальним законом:

$$A = A_0 e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2k}}z},$$

де A і A_0 — амплітуди добових коливань температури повітря відповідно на висоті z і на земній поверхні, °С; $\omega = 7{,}292 \cdot 10^{-5}$ с$^{-1}$ — кутова швидкість добового обертання Землі; k — коефіцієнт турбулентності, м^2/с; z — висота, м.

Реальна амплітуда коливань температури дещо більша, оскільки з висотою коефіцієнт турбулентності зростає (на висоті 2 м поправка не перевищує 1 °С).

Зі збільшенням висоти спостерігаються як зменшення амплітуди добових коливань температури, так і запізнення настання її максимуму і мінімуму.

Екстремуми температури повітря (максимум і мінімум) на висоті z настають пізніше на $\Delta t = t_2 - t_1$ від моменту настання їх на земній поверхні:

$$\Delta t = \frac{z}{2}\sqrt{\frac{\Pi}{\pi k}}.$$

Залежність Δt від z лінійна.

Добову та річну амплітуди температури повітря визначають амплітуда температури поверхні ґрунту, хмарність (амплітуда зменшується з її зростанням), пора року (влітку амплітуда більша, ніж узимку), рельєф території (на пересіченій місцевості порівняно з відносно рівною спостерігаються значні перепади температур, особливо в ясні безвітряні дні), вкритість рослинністю, близькість водойм (амплітуда зменшується). Крім того, добова температура повітря зазнає:

- конвекційних коливань, що виникають у ділянці максимуму температурних добових кривих; за сильного нагрівання поверхні ґрунту опівдні конвекційні потоки зумовлюють приплив повітря, що призводить до миттевих підвищень температури;
- коливань, зумовлених хмарністю, — характеризуються короткочасними зниженнями температури;
- коливань, пов'язаних із проходженням холодного фронту, — відмічаються раптовими спадами температури з наступним її утриманням на більш чи менш стабільному рівні;
- коливань, зумовлених проходженням теплого фронту, — характеризуються підвищенням температури; в результаті настає період відносно стабільної температури.

Взимку амплітуда добового ходу температури приземного шару повітря майже вдвічі менша, ніж улітку внаслідок слабкішого потоку сонячної радіації та менш інтенсивного турбулентного обміну. Якщо добовий хід температури повітря взимку пояснюють турбулентним теплообміном, то на її добовий хід влітку певний вплив чинять радіаційний, конденсаційний та конвективний притоки тепла.

Поблизу земної поверхні під впливом радіаційного потоку вдень повітря нагрівається зі швидкістю 0,3 – 6 град/год, а вночі — так само охолоджується. Основна роль належить довгохвильовому випромінюванню.

Влітку в помірних широтах мінімальна температура повітря спостерігається безпосередньо перед сходом Сонця, після чого до 9 – 10-ї години ранку вона швидко підвищується з деяким запізненням по-

рівняно з температурою земної поверхні. Далі до полудня зростання температури сповільнюється. Після досягнення максимуму о 13 – 14-й годині температура повітря починає знижуватись спочатку повільно, а з 16 – 17-ї години до заходу сонця — швидко. Протягом ночі триває повільне зниження температури.

Добові коливання характерні як для температури повітря, так і для її вертикального градієнта. Влітку вдень він додатний, а вночі — від'ємний. Взимку спостерігається така сама закономірність, але вдень градієнт додатний протягом значно коротшого періоду часу.

Тепловий профіль середовища життя рослин (ґрунт — атмосфера) характеризується влітку вдень додатним градієнтом, а вночі — від'ємним, перехід між ними припадає приблизно на час заходу та сходу сонця.

Між сезонами спостерігається така закономірність: влітку вертикальний градієнт від'ємний, восени — нульовий, пізніше — додатний, напровесні — додатний, навесні — нульовий, а пізніше — від'ємний.

Приморозки та захист від них сільськогосподарських культур. Одним із можливих негативних наслідків нічного зниження температури є так звані *радіаційні приморозки*. Приморозком називають спадання температури нижче від 0 °С на фоні стійкої плюсової добової температури. Якщо такі зміни температури повітря відмічаються на висоті 2 м, приморозки вважають повними, а якщо на висоті 2 м температура повітря не нижча за 0 °С, — приморозками на ґрунті.

Сприятливими умовами для радіаційних приморозків є низька вологість повітря, слабкий вітер і відсутність хмарності. За ослабленого турбулентного теплообміну ґрунт і прилеглий шар повітря охолоджуються внаслідок ефективного випромінювання підстильної поверхні B^*. За безхмарного неба температуру поверхні ґрунту і повітря біля неї в момент часу t можна розрахувати за формулою

$$T(t,0) = T(0,0) - \frac{2B^*}{\sqrt{\pi} c_m \rho^* \sqrt{k_т}} \sqrt{t},$$

де $T(0,0)$ — температура в початковий момент часу $t = 0$ (у момент заходу сонця), К; c_m — питома теплоємність ґрунту, Дж/(кг·К); ρ* — щільність ґрунту, кг/м^3; $k_т$ — коефіцієнт температуропровідності ґрунту, м^2/с.

Згідно з цією залежністю, чим більше ефективне випромінювання B^* (Вт/м^2), менша вологість ґрунту (відповідно — менша температуропровідність), тим істотніше зниження температури, причому найінтенсивніше воно в першу годину.

Крім радіаційних бувають *адвективні приморозки*, зумовлені надходженням повітряних мас з температурою, нижчою за 0 °С; вони можуть спостерігатися в будь-який період доби не тільки в приземному шарі повітря, а й на досить великій висоті. Характерним прикладом їх є травневі приморозки, зумовлені надходженням арктичного повітря. Тривалість адвективних приморозків — до кількох діб. Амплітуда добових коливань температури незначна.

Адвективно-радіаційні приморозки зумовлюються вторгненням холодних повітряних мас із подальшим їх охолодженням за рахунок нічного випромінювання. Низькі температури зазвичай спостерігаються на поверхні ґрунту або тільки в приземному шарі повітря. Такі приморозки настають у нічну пору і тривають 3 – 4 год.

На інтенсивність, тривалість приморозків, строки їх настання восени і припинення навесні впливають рельєф місцевості, стан ґрунту, наявність чи відсутність рослинності, близькість водойм та ін.

Найнебезпечніші щодо приморозків знижені елементи рельєфу, замкнені долини, улоговини, в які опускається холодне повітря, витісняючи тепле. На навітряних схилах ймовірніше виникнення приморозків (табл. 5.10, 5.11).

Таблиця 5.10. **Початок і закінчення приморозків за різних умов рельєфу** (за І.А. Гольцберг)

Місцеположення	Зміна середніх дат приморозків (дні) у порівнянні з рівним відкритим місцем		Тривалість безморозного періоду, дні
	Весна	Осінь	
Вершини і верхні частини схилів	+10	+10	+20
Долини завглибшки 50 – 100 м	–5	–10	–15
Улоговини і низини	–11	–14	–25

Примітка. «+» — збільшення тривалості безморозного періоду, «–» — зменшення.

Близькість водойм знижує небезпеку виникнення приморозків внаслідок більшої зволоженості повітря і високої теплоємності води. З цієї ж причини зменшується ризик виникнення приморозків на вологішому ґрунті.

За наявності рослинного покриву згубна дія приморозків відчутна у верхньому ярусі листків.

Стійкість рослин до приморозків визначають такі чинники:

- час настання, інтенсивність і тривалість;
- особливості рослин (вид, фаза розвитку);
- умови вирощування.

Таблиця 5.11. **Небезпечність місцевості щодо приморозків за різних умов рельєфу** (за І.А. Гольцберг)

Форми рельєфу	Зміна температури повітря, °С		тривалості безприморозкового періоду, доба
	мінімальної	максимальної	
Вершини	+1…+3	–0,5…–1,0	5 – 15
Верхні частини схилів			
південних	+1…+3	+1,0…+1,5	5 – 15
північних	+1…+3	–0,5…–1,0	5 – 15
Середні частини схилів			
південних	0	+0,5 – +1,0	0
північних	0	–0,5…–1,0	0
Нижні частини схилів			
південних	–1…–3	До 0,5	–5…–10
північних	–1…–3	До –1,0	–5…–10
Підніжжя схилів	–3…–5	±0,5	–10…–15
Дно долин			
продувних	–1…–2	0	–5…–10
непродувних	–3…–5	0,5	–15…–25
Замкнені пониззя	–4…–6	До 1,0	–20…–30

Примітка: «+» — підвищення мінімальної температури і тривалості безприморозкового періоду порівняно з вілкритим місцем, «–» — зниження.

За стійкістю до приморозків середньою тривалістю 5 – 6 год на основі критичної температури, за якої рослини гинуть або пошкоджуються, В.М. Степанов поділив їх на п'ять груп (табл. 5.12).

Таблиця 5.12. **Стійкість сільськогосподарських культур до приморозків у різні фази розвитку**

Культура	Температура, °С					
	початку пошкодження і часткової загибелі, фаза			загибелі більшості рослин, фаза		
	сходи	цвітіння	достигання (молочна стиглість)	сходи	цвітіння	достигання (молочна стиглість)
Найстійкіші до приморозків						
Пшениця, озиме жито	–9…–10	–1…–2	–2…–4	–10…–12	–2	–4
Овес, конюшина, люцерна, озимий ріпак	–8…–9	–1…–2	–2…–4	–8…–11	–2	–4
Ячмінь	–7…–8	–1…–2	–2…–4	–8…–10	–2	–4
Сочевиця	–7…–8	–2…–3	–	–8…–10	–3	–
Горох	–8…–9	–3	–3…–4	–8…–10	–3…–4	–4

Закінчення табл. 5.12

Культура	Температура, °С					
	початку пошкодження і часткової загибелі, фаза			загибелі більшості рослин, фаза		
	сходи	цвітіння	достигання (молочна стиглість)	сходи	цвітіння	достигання (молочна стиглість)
Стійкі до приморозків						
Люпин багаторічний	–7…–8	–3	–3	–8…–10	–3…–4	–3…–4
Вика яра	–8…–9	–2…–3	–2…–3	–8…–9	–3	–3…–4
Люпин синій	–5…–6	–2…–3	–3	–6…–7	–3…–4	–3…–4
Боби	–6…–7	–2…–3	–	–6….–7	–3	–3…–4
Соняшник	–5…–6	–1…–2	–2…–3	–7…–8	–3	–3
Льон, коноплі	–5…–7	–1…–2	–2…–4	–7	–2	–4
Буряки цукрові і кормові	–6…–7	–2…–3	–	–8	–3	–
Морква	–6–7	–	–	–8	–3	–
Гірчиця біла	–6…–7	–2…–3	–3…–4	–8	–3	–3
Капуста	–6…–7	–2…–3	–	–7…–8	–3	–
Середньостійкі до приморозків						
Люпин жовтий	–4…–5	–2…–3	–	–6	–3	–
Соя	–3…–4	–2	–2…–3	–4	–2	–
Редис	–4…–5	–	–	–6	–	–
Могар	–3…–4	–1…–2	–	–4	–2	–
Малостійкі до приморозків						
Кукурудза	–2…–3	–1…–2	–2…–3	–3	–2	–3
Просо, сорго	–2…–3	–1…–2	–1…–2	–2…–3	–2…–3	–3
Картопля	–2	–2	–1…–2	–2…–3	–2…–3	–3
Нестійкі до приморозків						
Гречка	–1…–2	–1	–1,5…–2	–2	–1	–2
Квасоля	–1…–1,5	–0,5…–1	–2	–1…–5	–1	–2
Рис	–0,5…–1	–0,5	–	–1	–0,5	–
Огірки, томати	–0…–1	–0…–1	–0…–1	–1	–1	–1
Баштанні	–0,5…–1	–0,5…–1	–0,5	–1	–1	–1
Бавовник	–0,5…–1	–0,5…–1	–1	–1	–1	–

Згідно з наведеними даними, найчутливіші рослини до приморозків у фази цвітіння і достигання.

Морозостійкість різних частин рослин плодових і ягідних культур різна (табл. 5.13).

Таблиця 5.13. **Стійкість різних частин рослин плодових і ягідних культур до приморозків** (за І.Г. Грінгоф та ін., 1987)

Культура	Частина рослини, яка пошкоджується приморозком	Критична температура, °С
Виноград	Розбруньковані бруньки	–1
	Квітки	0
Яблуня, груша, вишня, слива	Закриті пуп'янки	–4
	Квітки	–2
	Плодова зав'язь	–1
Черешня	Пуп'янки і квітки	–2
	Плодова зав'язь	–1
Абрикос, персик	Закриті пуп'янки	–2
	Квітки	–3
Малина, суниця	Плодова зав'язь	–1
	Квітки і зав'язь	–2

Короткочасні приморозки менш згубні для рослин, ніж тривалі. Швидке нагрівання рослин сонячними променями після приморозку посилює їх пошкодження, помітніше це виявляється на східних та південно-східних схилах.

Методи захисту сільськогосподарських культур від приморозків:

- влаштування димових завіс;
- застосування плівкових покриттів;
- пізня сівба;
- вибирання менш небезпечних щодо приморозків ділянок;
- поливання;
- вирощування скоростиглих і приморозкостійких рослин;
- застосування фосфорних і калійних добрив та ін.

У результаті димлення прогрівається повітря, конденсується водяна пара, ослаблюється ефективне випромінювання, рослини захищаються від прямих сонячних променів. Для створення димової завіси на 1 га розкладають 50 – 60 куп хмизу, бур'яну, соломи тощо заввишки 1,5 м і діаметром 2 м. Найефективніший цей захід за слабкого вітру або в безвітряну погоду на рівних ділянках, що дає змогу підвищити температуру повітря на 2 – 3 град.

Поливання сприяє акумуляції тепла у верхньому шарі ґрунту й підвищенню його температури вночі на 2 °С.

Водний режим

Водний режим і водний баланс ґрунту. Сукупність явищ, пов'язаних з надходженням вологи в ґрунт, її пересуванням, витра-

чанням та зміною, називають *водним режимом ґрунту*, а математичний опис його — *водним балансом*.

Основні статті водного балансу ґрунту:

приходні:

- опади, які досягають поверхні ґрунту;
- поверхневий приплив;
- капілярне підіймання;
- конденсація водяної пари.

витратні:

- поверхневий стік;
- внутрішньоґрунтовий стік;
- випаровування з поверхні ґрунту;
- транспірація.

Водний баланс W' ґрунту протягом вегетаційного періоду у спрощеному вигляді можна подати формулою

$$W' = k_{\text{в}} r + (W_{\text{п}} - W_{\text{к}}) + W_{\text{г}},$$

де r — сума опадів, мм; $k_{\text{в}}$ — коефіцієнт використання вологи опадів (у середньому — 0,7); $W_{\text{п}}$ і $W_{\text{к}}$ — запаси продуктивної вологи в 1-метровому шарі ґрунту на початок і кінець вегетаційного періоду, мм; $W_{\text{г}}$ — кількість води, яка надходить із ґрунтових вод, мм.

С.А. Вериго, Л.О. Разумова виділяють чотири типи річної динаміки запасів продуктивної вологи у ґрунті:

1) *обводнення* — взимку в кореневмісний шар вода надходить із ґрунтових вод, які знаходяться глибоко, а навесні — спадає;

2) *капілярне зволоження* — вода з ґрунтових вод надходить періодично, основна її кількість — за рахунок капілярного підіймання;

3) *повне весняне промочування* — в умовах глибокого залягання ґрунтових вод найбільше води спостерігається після танення снігу;

4) *слабке весняне промочування* — аналогічний попередньому, характеризується меншою кількістю вологи.

На відміну від транспірації та поверхневого випаровування вологість ґрунту і запаси вологи не мають вираженого добового ходу. Під час опадів (або поливання) запас вологи в ґрунті швидкого збільшується, а в проміжках між ними він плавно зменшується. В умовах континентального клімату максимальна кількість опадів припадає на вранішній час і після полудня, в умовах морського — на ніч і ранок. За тривалі періоди вологість ґрунту залежно від балансу опадів і теплового режиму може змінюватись у бік як зменшення, так і збільшення.

Залежність зміни запасів продуктивної вологи від метеорологічних чинників описує рівняння

$$\Delta W = at + br + cW + d,$$

де ΔW — зміна запасів продуктивної вологи за декаду, мм; t — середньодекадна температура повітря, ° С; r — сума опадів за декаду, мм; W — запаси продуктивної вологи на початку декади, мм; *a, b, c, d* — коефіцієнти, значення яких залежать від зони, товщини шару ґрунту і фази розвитку рослини.

На схилах водний баланс ґрунту та запас продуктивної вологи можуть дещо різнитись від аналогічних показників рівної поверхні за рахунок зміни поглинання рідких опадів ґрунтом:

$$r_{\text{п}} = r + r_i(1 - \alpha),$$

де $r_{\text{п}}$ — кількість опадів, поглинених ґрунтом схилу, мм; r, r_i — опади відповідно невеликої та великої інтенсивності, мм; α — коефіцієнт стоку (коливається від 0 до 0,86, зростає зі збільшенням стрімкості схилу та вологості ґрунту).

Продукти атмосферної конденсації, які потрапляють на поверхню ґрунту у вигляді опадів, є основою кліматичної характеристики регіону (вертикальні опади — дощ, сніг, град та ін.). Найчастіше використовують: 1) середню кількість (суму) опадів; 2) кількість днів або годин з опадами; 3) щільність опадів — кількість опадів за 1 день з опадами; 4) інтенсивність опадів на 1 год (1 хв) в період їх випадання.

Горизонтальні опади — роса, іній, ожеледь та ін. — утворюються внаслідок конденсування водяної пари. Поряд із вертикальними опадами конденсування як на поверхні рослин, так і в поверхневих шарах ґрунту у вигляді роси відіграє помітну роль у формуванні водного балансу (до 30 мм води за теплий період року). Сприятливі умови для випадання роси створюються за низької хмарності вночі.

Гідрофізичні характеристики ґрунту як чинники його водного режиму. Рушійною силою міграції вологи в ґрунті є градієнт водного потенціалу $\frac{\partial P}{\partial x}$. Водний потенціал є величиною від'ємною і вимірюється в метрах, сантиметрах. Швидкість перенесення вологи в ненасиченому ґрунті визначають за формулою

$$v = k'\left(\frac{\partial P}{\partial x} - 1\right),$$

де k' — коефіцієнт вологопровідності, см/с (см/год); $\partial x = x_2 - x_1$ — різниця двох рівнів ґрунтового профілю.

Оскільки коефіцієнт k' є функцією водного потенціалу, тобто $k' = k'(P)$, наведена залежність має нелінійний характер і принципово різниться від законів теплопровідності.

Залежність водного потенціалу ґрунту від його вологості називають *основною гідрофізичною характеристикою* (ОГХ) ґрунту. Це друга важлива залежність руху води у ненасиченому ґрунті (рис. 5.12).

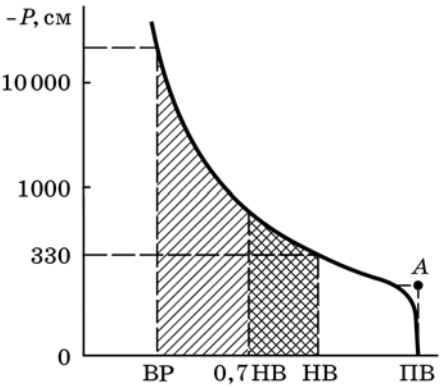


Рис. 5.12. Крива водоутримувальної здатності ґрунту (ОГХ; за Р.О. Полуектовим)

Оптимальним для рослин є діапазон вологості від 0,7 НВ до НВ. За нижчої вологості значно зростає водний потенціал і за вологості в'янення рослин (ВВР) вони втрачають здатність поглинати воду, оскільки максимальна всмоктувальна сила, яку може створити коренева система, стає нижчою за всмоктувальну силу ґрунту.

Коефіцієнт вологопровідності $k'(P)$ зі зростанням значення водного потенціалу (або зниженням вологості ґрунту) зменшується, але на різних за гранулометричним складом ґрунтах темпи зниження різні (рис. 5.13). Ґрунтам легкого складу властиве різкіше зниження цієї величини, в результаті за вологості понад НВ їх вологопровідність більша, ніж ґрунтів важкого складу, а за вологості нижчої за НВ — менша. Цим і зумовлюється швидке переміщення вологи опадів в умовах насичення нею ґрунтів легкого складу в нижні шари і пересихання верхнього шару.

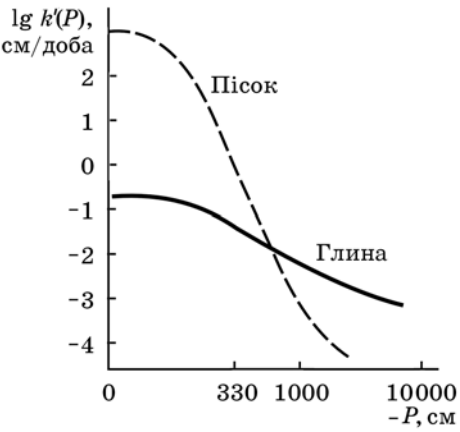


Рис. 5.13. Залежність коефіцієнта вологопровідності від водного потенціалу ґрунту (за Р.О. Полуектовим)

Керування водним режимом ґрунту. Основними методами регулювання водного режиму ґрунту вважають:

- зрошення, осушення, двобічне регулювання водного режиму;
- полезахисні лісові смуги (вплив помітний на відстані від 10 – 15- до 30 – 50-кратної висоти дерев);

- куліси з високостеблових рослин;
- застосування парів;
- обробіток ґрунту;
- мульчування;
- снігозатримання (дає змогу збільшити запаси продуктивної вологи в 1-метровому шарі в 1,5 – 2 рази).

Вертикальний розподіл та добова динаміка вологості приземного шару повітря. Значення вологості повітря у формуванні радіаційного і відповідно теплового балансу земної поверхні та агроекосистеми описано вище. Вода, як відомо, може перебувати у трьох станах — газоподібному (пара), рідкому та твердому (лід). За температури 0,01 °С і тиску 6,1 гПа співіснують у рівновазі усі три фази, такий стан називають *потрійною точкою води* (рис. 5.14).

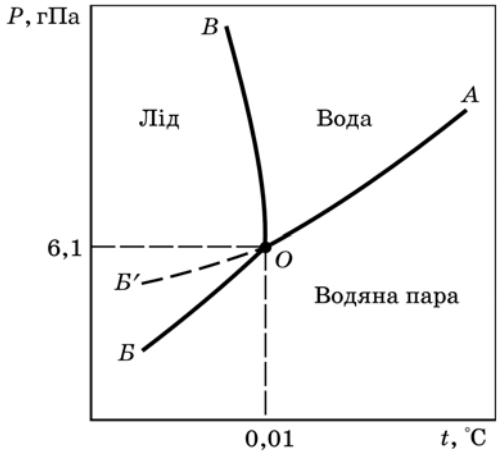


Рис. 5.14. Діаграма стану води:
О – А — вода + пара; *О – Б* — лід + пара;
О – Б′ — переохолоджена вода + пара;
О – В — вода + лід

У реальних умовах, які різняться від наведених, вода одночасно знаходиться у двох фазах: вода — пара, лід — пара, вода — лід, рівновага між якими за даного тиску встановлюється за певної температури. Чим вона вища, тим більше вологи міститься в повітрі за повного його насичення водяною парою, а тиск, який вона створює, називають пружністю насичення водяної пари (*E*). За відсутності потрібної кількості вологи (водної поверхні, зволоженого ґрунту тощо) для досягнення *E* повітря перебуває в ненасиченому стані, який характеризують показником *e* — пружністю (парціальним тиском) водяної пари. У цьому разі створюється дефіцит насичення водяної пари *d*:

$$d = E - e.$$

Найчастіше вміст води у повітрі характеризують його відносною вологістю *f* та питомою вологістю *s*:

$$f = \frac{e}{E} \cdot 100\ \%;$$

$$s = \frac{0{,}622e}{P - 0{,}378e},$$

де P — атмосферний тиск, гПа.

З підвищенням температури повітря зростає дефіцит насичення водяної пари, інтенсивніше випаровується вода з ґрунту і рослин. Зі зниженням температури повітря параметр d зменшується і за температури, яку називають *точкою роси* τ, водяна пара стає насиченою, тобто $e = E$ і $d = 0$. За подальшого зниження температури надмірна кількість вологи конденсується і випадає у вигляді роси.

Вологість приземного шару повітря визначається:

- упорядкованим перенесенням водяної пари в горизонтальному напрямку (адвекцією); найчастіше питома вологість повітря зростає;
- упорядкованим перенесенням водяної пари у вертикальному напрямку (конвекцією);
- турбулентною дифузією водяної пари у вертикальному і горизонтальному напрямках; важливішою є вертикальна дифузія.

Випаровування одночасно можна розглядати як складову водного балансу і як чинник терморегуляції.

Випаровування води визначається температурою поверхні, дефіцитом вологості повітря, швидкістю вітру, атмосферним тиском, вологістю ґрунту, його гранулометричним складом і структурою, швидкістю підіймання і рівнем ґрунтових вод, рельєфом, рослинним покривом тощо. Воно відбувається безпосередньо з органів рослин (транспірація $E_{тр}$) та з ґрунту (фізичне, або евапорація $E_{ф}$) — відповідно продуктивне і непродуктивне. Отже, сумарне випаровування

$$E_{сум} = E_{тр} + E_{ф}.$$

Внутрішні чинники евапотранспірації — вміст води у клітинах, вік рослини, її анатомічна будова, *зовнішні* — комплекс погодних умов і вологість ґрунту. Внутрішні чинники переважають за дефіциту вологи, зовнішні — за її надлишку. Розрізняють *потенційну* та *актуальну* евапотранспірацію: перша характеризує максимально можливе випаровування за певних метеорологічних умов, друга — фактичне.

Швидкість випаровування з поверхні ґрунту залежить від його температури, вологості, фізичних властивостей, стану поверхні, вологості повітря, швидкості вітру, наявності чи відсутності рослинного покриву.

Транспірація визначається вологістю кореневмісного шару ґрунту і повітря, їх температурами, швидкістю вітру, величиною сонячної радіації; вона є основною складовою евапотранспірації.

Питома вологість приземного шару повітря за висотою розподіляється за логарифмічним законом і наближено описується рівнянням

$$s(z) = s_1 - \frac{E}{a\rho_0} \ln \frac{z + z_0}{z_1 + z_0},$$

де $s(z)$ і s_1 — питомі вологості повітря відповідно на довільній висоті z та на деякій (відомій) z_1, визначені з потрібною точністю; E — швидкість випаровування із земної поверхні, кг/(м^2·с); ρ_0 — щільність повітря біля земної поверхні, кг/м^3; a — коефіцієнт, що залежить від висоти; z_0 — параметр шорсткості поверхні, м.

За $E > 0$ (як правило, вдень) питома вологість з висотою зменшується, а за $E < 0$ (вночі) — зростає. У хмарну погоду питома вологість повітря вища і менш помітно змінюється з висотою.

Добовий хід питомої вологості повітря зумовлюється зміною температури і турбулентного обміну. Питома вологість повітря в атмосфері змінюється водночас із температурою, тому спостерігається добовий цикл зміни вологості повітря, який обернено пропорційний циклу температури.

Амплітуда коливань питомої вологості повітря залежить як від зміни температури, так і опосередковано від клімату. За вологого клімату коливання невеликі, за сухого — значні. Біля поверхні ґрунту значення відносної вологості помітно більше, ніж за стандартних умов, тобто на висоті 2 м. Причини такого збільшення — близькість джерела випаровування (ґрунту) та ослаблення швидкості вітру в приземному шарі.

Після сходу сонця (до 9 – 10-ї години) відносна вологість повітря підвищується внаслідок збільшення випаровування. Після цього до 15 – 17-ї години вологість знижується, оскільки інтенсивніший турбулентний потік переносить водяну пару у вищі шари атмосфери, особливо за малого випаровування, що характерно для недостатньо зволожених ґрунтів. Увечері турбулентний потік ослаблюється, в результаті чого вологість повітря зростає до 21 – 22-ї години. Нічна конденсація водяної пари призводить до зменшення вологості повітря.

Взимку коливання вологості значно менші і характеризуються одним мінімумом наприкінці ночі і одним максимумом о 18 – 19-й годині.

Вологообмін у посіві забезпечується здебільшого турбулентним перемішуванням повітря в міжлистковому просторі і над посівом, що визначається вертикальними градієнтами швидкості вітру і перешкодами на шляху повітряних мас (рослини, нерівності ґрун-

ту). Внаслідок підвищення загального випаровування за рахунок посилення транспірації та зниження швидкості вітру відносна вологість повітря у фітоценозах вища, ніж на відкритому просторі.

Для характеристики тепловодообміну в посіві треба знати закономірності зміни з висотою швидкості вітру і коефіцієнта турбулентного обміну.

У взаємодії повітряного потоку з рослинним покривом умовно можна виділити шар внутрішньої жорсткості завтовшки z_0, де швидкість вітру дорівнює нулю, шар від z_0 до верхньої межі посіву h_L та шар над посівом.

Інтенсивність волого- і теплоперенесення в посіві визначається швидкістю вітру, який впливає на коефіцієнт турбулентного обміну тепла і вологи. Турбулентний обмін всередині посіву на відміну від такого обміну над посівом, де він стабільніший, описується складнішими залежностями.

Швидкість вітру в посіві найменша біля поверхні ґрунту і зростає в напрямку верхніх ярусів, де й відбуваються головний газообмін і транспірація, що описується експоненціальною залежністю

$$u(h) = u(h_L)\, e^{-\beta\left(1-\frac{h}{h_L}\right)},$$

де $u(h)$ — швидкість вітру на висоті h; $u(h_L)$ — швидкість вітру на верхній межі посіву h_L; β — параметр, що залежить від об'ємної щільності s листків та висоти рослин посіву.

Швидкість вітру над посівом на висоті z над ґрунтом описується логарифмічною залежністю

$$u(z) = \frac{u^*}{æ} \ln\left(\frac{z - z_в}{z_0}\right),$$

де u^* — динамічна швидкість вітру; æ = 0,38 — стала Кармана; z_0 — параметр шорсткості поверхні ($z_0 \approx 0{,}2h_L$); $z_в$ — висота шару витіснення, тобто висота над z_0, на якій швидкість вітру дорівнює нулю ($z_в \approx 0{,}63h_L$).

За відсутності опадів та вологи на поверхні рослин величини тепло- і вологоперенесення прямо пропорційно залежать від різниць температур, питомої вологості повітря і фітоелементів, турбулентності, градієнтів температури і питомої вологості повітря.

Посухи та інші екстремальні явища водного режиму. *Посуха* — це висушування кореневмісного шару ґрунту через тривалу відсутність опадів і високу випаровуваність, що призводить до порушення нормального водопостачання рослин і зниження їх продуктивності.

Розрізняють *ґрунтову посуху*, яка характеризується дефіцитом доступної рослинам вологи, *атмосферну (повітряну) посуху*, що спричинює сильну транспірацію рослин і випаровування з поверхні ґрунту, а також *ґрунтово-атмосферну (змішану).* За порами року розрізняють весняні, літні, осінні та зимові посухи.

Весняні й осінні посухи настають за невисокої температури і низької відносної вологості повітря (до 10 %), внаслідок чого вода з ґрунту інтенсивно випаровується. Літні посухи зумовлені сухим спекотним повітрям, що призводить до посилення фізичного випаровування та транспірації.

Ступінь посушливості оцінюють за співвідношенням між надходженням і можливою витратою вологи (випаровуваністю) — показником посушливості Бова:

$$K = \frac{10(W_{\text{п}} + r)}{\sum t},$$

де $W_{\text{п}}$ — запаси продуктивної вологи навесні в шарі ґрунту 0 – 100 см, мм; r — кількість опадів з початку весни до моменту виконання розрахунку, мм; $\sum t$ — сума середніх добових температур понад 0 °С до моменту проведення розрахунку.

Початком посухи вважають зниження значення K до 1,5.

Атмосферну і змішану посухи спричинюють *суховії* — метеорологічне явище, яке характеризується низькою відносною вологістю повітря (менш як 30 %) у поєднанні з його високою температурою (понад 25 °С) і швидкістю вітру понад 5 м/с, що зумовлює високу випаровуваність і порушення водного балансу рослин.

В Україні виділяють два осередки з підвищеною кількістю суховіїв (протягом 25 – 30 діб):

- південні області — Миколаївська, Дніпропетровська, Запорізька, Херсонська та центральні степові райони Криму;
- східні райони Луганської і частина районів Донецької області.

Основні способи боротьби з посухою і суховіями:

- зрошення;
- поверхневий обробіток ґрунту;
- снігозатримання;
- полезахисне лісорозведення;
- мульчування ґрунту;
- дотримання оптимальних строків сівби та ін.

Конденсування води в нижніх шарах атмосфери призводить до утворення *туманів*, які складаються з краплин завбільшки від 1 до 40 мкм. Залежно від причини охолодження приземного шару повітря розрізняють кілька видів туманів:

• радіаційні — зумовлені випромінюванням земної поверхні, спостерігаються восени й навесні вночі за безвітряної погоди в низинах;

• адвективні — формуються внаслідок надходження теплого повітря на охолоджену поверхню, найчастіше трапляються від пізньої осені до ранньої весни;

• адвективно-радіаційні — за одночасної дії двох зазначених вище причин;

• фронтальні — наслідок перемішування холодних і теплих повітряних мас;

• тумани випаровування — наслідок випаровування з теплої водної поверхні в холодне повітря.

Тумани виконують позитивні і негативні функції:

• гальмують охолодження підстильної поверхні і тим самим зменшують небезпеку приморозків;

• перешкоджають достиганню пилку, діяльності комах-запилювачів;

• погіршують умови достигання плодів, що знижує їх якість і збережність;

• затримують достигання урожаю зернових культур, ускладнюють його збирання.

Град утворюється внаслідок конденсації водяної пари у грозових хмарах за температури –20…–30 °С, здатний значно пошкоджувати чи навіть знищувати рослини.

Зливи — дощі інтенсивністю 0,5 мм/хв і більше:

• змивають пилок, перешкоджають діяльності комах-запилювачів, спричинюють обпадання квіток, зав'язей плодів;

• призводять до розтріскування шкірки плодів;

• затримують достигання картоплі, зумовлюють формування тонкої шкірки, яка легко пошкоджується;

• спричинюють вилягання посівів зернових;

• призводять до «стікання» зерна, проростання зерна у валках.

Роса є додатковим ресурсом вологи (до 30 мм води за теплий період року). Вона зменшує небезпеку приморозків, але ускладнює збирання врожаю зернових культур.

Повітряний режим

Чинники, що визначають інтенсивність газообміну між ґрунтом і приземним шаром повітря. Одними з найважливіших чинників є загальна поруватість ґрунту та розміри пор, що визначаються його структурою. За агрономічно цінної водотривкої горіхувато-зернистої макроструктури з розмірами агрегатів 0,25 – 10 мм створюються сприятливі умови для повітро- і газообміну. Істотне

значення при цьому має і щільність ґрунту — в ущільнених ґрунтах пористість знижується, розмір пор зменшується, газообмін погіршується. Розпушення ґрунту є дієвим засобом його поліпшення, особливо коли рівноважна щільність ґрунту відхиляється від оптимальної для рослин (бідних на органічну речовину, малоструктурованих).

Ґрунтова кірка, що утворюється після випадання дощу на солонцюватих, оглеєних, важких ґрунтах, різко погіршує газообмін між ґрунтом та атмосферним повітрям. Для його поліпшення потрібне розпушення ґрунту, для оптимізації його фізико-хімічних властивостей — довгострокові заходи (гіпсування, удобрення тощо).

Коливання атмосферного тиску є одним із чинників газообміну. Так, за зниження тиску повітря виходить з ґрунту, і навпаки. У свою чергу, зміна атмосферного тиску зумовлена неоднорідністю радіаційного балансу підстильної поверхні з різним рельєфом. Вітер, що виникає з тих самих причин, сприяє дифузії газів і поліпшенню газообміну.

Опади, поливання призводять до заповнення пор ґрунту водою і витіснення з них повітря. За інтенсивного надходження води, особливо в ґрунт із дрібними порами, повітря защемлюється і газообмін різко погіршується. Істотно погіршують газообмін крижана кірка, потужний сніговий покрив.

Недостатній газообмін між ґрунтом і атмосферним повітрям може погіршити умови для рослинних і тваринних організмів внаслідок зміщення складу мікроорганізмів у бік анаеробів, й отже, зміни поживного режиму, підвищення концентрації токсичних речовин у ґрунтовому повітрі та виходу за оптимальні межі концентрацій кисню і вуглекислого газу.

Водночас і надмірна інтенсивність повітро- і газообміну теж небажана, оскільки може призвести до підвищених втрат вологи з ґрунту, посиленої мінералізації органічної речовини тощо, у зв'язку з чим доводиться здійснювати заходи, спрямовані на зменшення газообміну («закриття вологи», коткування, мінімізація обробітку ґрунту, створення полезахисних лісосмуг, куліс та ін.).

Одним із наслідків підвищеного газообміну є зменшення концентрації CO_2 в приземному шарі повітря, що є важливим чинником інтенсивності фотосинтезу.

Газообмін в агрофітоценозі відбувається повільніше, ніж на ділянках без рослинного покриву. Головною причиною цього є уповільнене турбулентне перемішування повітря всередині агрофітоценозу внаслідок менших швидкості вітру та вертикального градієнта температури. Основний газообмін відбувається на верхній межі посіву. Головні закономірності газо- і вологообміну в фітоценозі аналогічні.

Особливості вітру в агрофітоценозі. Напрямок і швидкість вітру в приземних шарах атмосфери визначаються архітектонікою рослинного покриву.

Рельєф місцевості є перешкодою на шляху вітру, що ослаблює його безпосередньо перед перешкодою, але з боків і над перешкодою швидкість вітру зростає.

Гальмівний вплив на швидкість вітру чинять полезахисні лісосмуги. Вітер частково проникає крізь них, частково обгинає їх, але при цьому втрачає швидкість. У результаті з підвітряного боку утворюється аеродинамічна тінь — смуга з низькою швидкістю вітру.

У трав'янистих фітоценозах і вище від них швидкість вітру є функцією їх висоти і щільності, біля поверхні ґрунту та в щільному травостої вона нижча.

Екстремальні явища руху повітря. *Пилові бурі* — це сильні вітри (понад 10 м/с), які несуть велику кількість пилу. Формуються за надмірних висушеності і розпиленості верхнього шару ґрунту, відсутності рослинності і низької вологості повітря (менш як 50 %).

Ґрунти легкого гранулометричного складу менш стійкі до руйнівної дії вітру. За його швидкості на висоті 15 см від поверхні 2 – 3 м/с, за Л.Ф. Смирновим, починається вітрова ерозія. Для глинистих ґрунтів ця швидкість становить 7 – 9 м/с. Найчастіше пилові бурі трапляються навесні.

У межах України виділяють три осередки формування пилових бур. Це райони Херсона і Каховки, Луганська та Сарата — Болград (північно-східна частина Одеської обл.).

Основні способи боротьби з пиловими бурями такі:

- ґрунтозахисний обробіток ґрунту;
- смугове розміщення посівів;
- застосування кулісних парів;
- створення полезахисних лісосмуг та ін.

Раціональне влаштування продуктивних лісосмуг із середньою ажурністю до 30 % й максимальною ажурністю 50 – 60 % біля основи. Вітрозахисний ефект помітний на відстані, що дорівнює 40 – 50-кратній висоті дерев у смузі. Рекомендовані відстані між лісосмугами: у Степу — 200 – 500 м, у Лісостепу — 350 – 600, на Поліссі — 400 – 700 м.

Несприятливі умови зимового періоду

Взимку внаслідок специфічного поєднання кліматичних, метеорологічних чинників (рис. 5.15) для організмів можуть скластися особливо несприятливі умови, які найбільш згубні для рослин.

Для мінімізації втрат урожаю важливе значення має підвищення їх зимостійкості.

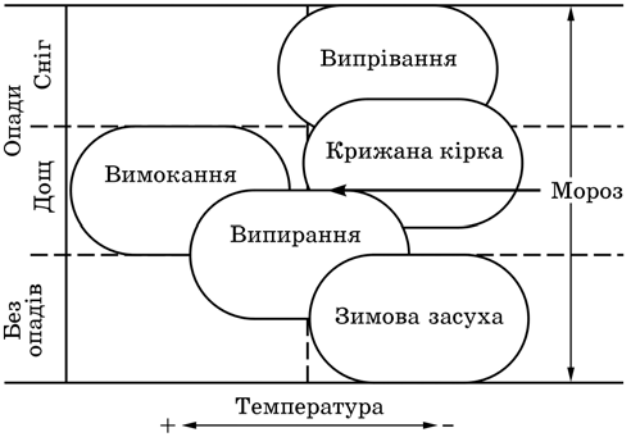


Рис. 5.15. Залежність окремих стресових чинників від температури і кількості опадів узимку (за І. Петром та ін., 1987)

Зимостійкістю рослин називають їх здатність протистояти комплексу несприятливих погодних умов узимку (сильним морозам, випрівинню, вимоканню, крижаній кірці, різким коливанням температури та ін.). Вона зумовлена адаптацією рослин до сезонних і щоденних змін погоди, яка має три прояви:

- *морфологічний* — приземний ріст, глибоке залягання вузла кущення та ін.;
- *фізіолого-біохімічний* — зневоднення тканин, накопичення вуглеводів тощо;
- *фенологічний* — сповільнений перехід до генеративних фаз (яровизація за короткого дня).

Температура, тривалість дня, опади — важливі чинники для проходження процесів адаптації.

Морозостійкість — це здатність рослин протистояти низьким мінусовим температурам узимку. На відміну від приморозкостійкості рослин у теплу пору року (весна — осінь) морозостійкість набувається постійною підготовкою рослин у холодну пору року — загартуванням. У теплу пору рослини його не мають і пошкоджуються навіть при незначних зниженнях температури. Серед метеорологічних чинників визначальний вплив на морозостійкість мають температура, опади і сонячна радіація.

Морозостійкість розвивається за схемою: загартування — стабільна стійкість — втрата стійкості.

До початку загартування (в першій половині осінньої вегетації) для рослин найкращою є висока вологість ґрунту, що забезпечує

дружні сходи і добре кущіння рослин, та середньодобова температура повітря 6 – 12 °С. Перерostання рослин і надмірне їх кущіння небажані.

Загартування, за І.І. Тумановим, відбувається в дві фази:

- перша — за сонячної погоди, середньодобової температури повітря 0 – 6 °С і великої добової амплітуди (вдень 10 – 15 °С, вночі –1…–2 °С);
- друга — за середньодобової температури 2 – 5 °С.

У результаті проходження першої фази загартування, яка триває 12 – 15 діб, у рослинах накопичуються цукри. В другу фазу за рахунок часткового зневоднення тканин підвищується концентрація тканинного соку, крохмаль частково перетворюється на цукри.

На загартування рослин позитивно впливають достатнє забезпечення сонячною радіацією, знижена температура вночі, деякий дефіцит вологи в ґрунті і повітрі. Тепла хмарна погода менш сприятлива для проходження першої фази загартування, оскільки ріст рослин триває і цукри витрачаються інтенсивніше.

Після успішного проходження загартування рослини озимої пшениці на глибині вузла кущіння можуть витримувати до –18 °С, озимого жита — до –22…–24, озимого ячменю — до –13…–16 °С. Рослини конюшини червоної переносять зниження температури до –13…–16, люцерни — до –17…–19 °С.

Критичною для вимерзання рослин вважають температуру, за якої гине 50 % рослин і більше; посіви при цьому треба пересівати.

Стабілізації морозостійкості сприяють помірні морози, а температура понад +10 °С призводить до її зниження. Похолодання забезпечує повторне загартування рослин, але дещо менше, ніж початкове. Весняне потепління призводить до незворотної втрати морозостійкості.

Способи захисту рослин від вимерзання:

- снігозатримання (оптимальна висота снігового покриву до 20 см) — здійснюють залишенням на зиму куліс із високостеблових рослин, стерні злакових рослин, створенням полезахисних лісосмуг, влаштуванням снігових валків та ін.;
- вчасна сівба та достатнє фосфорно-калійне удобрення для успішного кущіння й загартування рослин.

На відміну від озимих і багаторічних трав, які переходять у стан вимушеного спокою, дерева і чагарники переходять у стан глибокого спокою. Наземні частини плодових культур стійкіші до низьких температур, ніж їхні кореневі системи (табл. 5.14).

Випрівання рослин спостерігається за тривалого їх перебування під сніговим покривом завтовшки понад 30 см і температури на глибині вузла кущіння близько 0 °С. В результаті відбувається інтенсив-

ний розпад органічних речовин і рослини гинуть від виснаження і грибкових хвороб. Триває цей процес не менш як 30 – 40 діб, а повністю рослини виснажуються за 80 діб. Відновлення фотосинтезу після сходження снігового покриву дає змогу зберегти посіви.

Таблиця 5.14. **Стійкість плодових культур до низьких температур повітря** (за М.Ф. Цупенком, 1990)

Культура	Частина рослини	Температура, °С
Абрикос, персик	Крона	–20…–25
	Коренева система	–8…–12*
Яблуня	Крона	–35…–40
	Ростові бруньки	–40…–45
	Квіткові бруньки	–35…–40
	Коренева система	–10…–15*
Груша	Крона	–25…–30
	Ростові бруньки	–30…–35
	Квіткові бруньки	–25…–30
	Коренева система	–8…–10*
Вишня	Крона	–35…–39
	Ростові бруньки	–40…–45
	Квіткові бруньки	–35…–40
	Коренева система	–10…–15*
Слива	Крона	–30
	Ростові бруньки	–25…–30
	Квіткові бруньки	–25…–30
	Коренева система	–8…–10*
Горіх	Крона	–23…–25
	Коренева система	–8…–10*
Суниця	Те саме	–11*
Малина	«	–15…–16*
Смородина	«	–18*
Виноград	Наземна частина	–12…–20
	Коренева система	–5…–9*

* Температура ґрунту.

Для захисту рослин від випрівання треба:

- ущільнювати сніг коткуванням для поліпшення теплообміну;
- мульчувати поверхню снігу темними речовинами для прискорення сніготанення (ґрунтом, торфом, золою).

Вимокають рослини в разі їх затоплення на важких суглинкових ґрунтах протягом 18 – 20 діб і більше. За плюсових температур небезпека вимокання більша. Затоплення погіршує загартування рослин і знижує їх морозостійкість.

Крижана кірка утворюється при замерзанні води, яка накопичилась на знижених ділянках рельєфу після короткочасної відлиги

або опадів. Рослини гинуть внаслідок погіршення газообміну, накопичення під кригою токсичних сполук та отриманих механічних пошкоджень. Розрізняють притерту і підвішену кірку (за наявності між ґрунтом і кригою шару повітря).

Для боротьби із крижаною кіркою та вимоканням посівів проводять осушення, щілювання і кротування з метою відведення надлишку води. За наявності крижаної кірки вдаються до снігозатримання або мульчування темними матеріалами.

Випирання рослин відбувається внаслідок кількаразового попереміннього замерзання та розмерзання верхнього перезволоженого шару ґрунту, в результаті чого рослини витискуються на поверхню, їх корені розриваються, а самі рослини пошкоджуються морозом чи посухою. Найчастіше це явище спостерігається в разі пізньої сівби в надто розпушений ґрунт.

Запобігти випиранню можна своєчасним обробітком ґрунту і сівбою в ущільнений ґрунт на достатню глибину.

Видування характерне за умов тривалих вітрів зі швидкістю понад 10 – 15 м/с і відсутності снігового покриву. При цьому верхня частина кореневої системи рослин і вузли кущіння оголюються, внаслідок чого вони гинуть. Заходи боротьби — створення лісосмуг, застосування кулісних та смугових посівів, ґрунтозахисний обробіток, снігозатримання та ін.

Сонячні опіки, або морозобоїни, кори дерев спостерігаються у другій половині зими в разі її нагрівання сонячними променями до плюсових температур і подальшого замерзання вночі; виявляються у вигляді тріщин.

5.5. Оцінювання клімату агросфери

Методика сільськогосподарського оцінювання клімату

Загальні положення. Основними завданнями агрокліматології є оцінювання агрокліматичних ресурсів і розробка пропозицій щодо їх ефективного використання у сільському господарстві.

Методика сільськогосподарського оцінювання клімату і погоди складається в основному з оцінок:

- забезпеченості рослин теплом і світлом;
- забезпеченості рослин вологою;
- умов перезимівлі зимуючих рослин;
- несприятливих для сільського господарства погодних явищ;
- біокліматичного потенціалу території — комплексна оцінка бонітету клімату.

Суть цієї методики відбиває рис. 5.16.

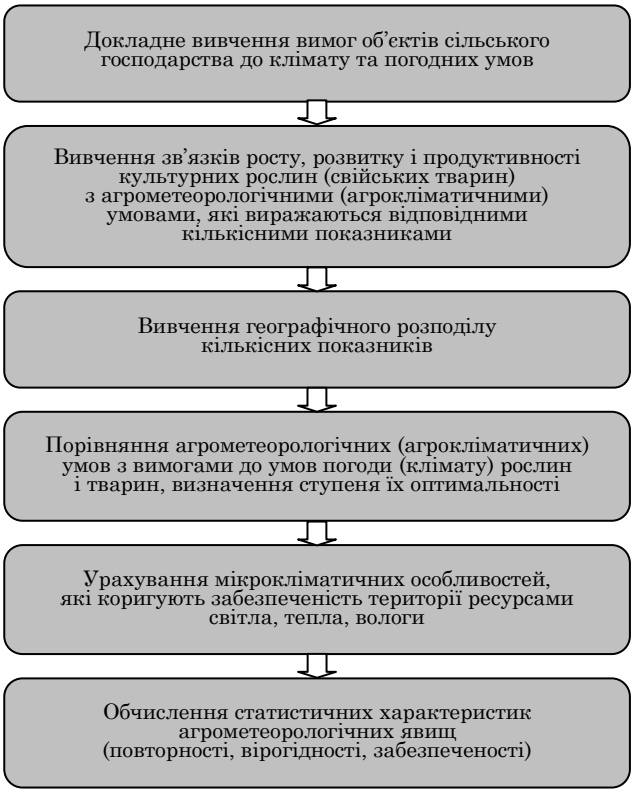


Рис. 5.16. Методика сільськогосподарського оцінювання клімату і погоди (за О.М. Шульгіним)

Під *сільськогосподарською продуктивністю клімату* розуміють комплексну характеристику сукупності агрометеорологічних (агрокліматичних) чинників, які створюють умови для формування продуктивності культур (термічний та частково світловий чинники, вологозабезпеченість, умови перезимівлі рослин, несприятливі метеорологічні явища), визначають продуктивність сільськогосподарських культур і загальну біологічну продуктивність за певного техніко-економічного рівня сільськогосподарського виробництва. За визначенням Д.І. Шашка, це *агрокліматичні ресурси певної території.*

Основними чинниками сільськогосподарського оцінювання клімату є світло, тепло і волога, однак повніше уявлення про агрокліматичні ресурси можна отримати лише за допомогою аналізу впливу таких другорядних чинників, як швидкість вітру, хмарність та ін.

Вивчення клімату із сільськогосподарською метою раніше полягало в оцінюванні тепло- і вологозабезпеченості вирощуваних культур, умов перезимівлі озимих і багаторічних рослин. Основними вимогами до агрокліматичних показників були: тісний корелятивний зв'язок із характеристиками розвитку та продуктивності рослин, простота формул для їх розрахунків і придатність для складання агрокліматичних карт.

У сучасному розумінні *оцінювання агрокліматичних ресурсів* — це виявлення кліматичних можливостей території для отримання сільськогосподарської продукції. Формою представлення агрокліматичних ресурсів є відомості щодо продуктивності культур залежно від кліматичних особливостей території. Раніше під цим розуміли виявлення можливості проходження рослинами усіх стадій розвитку, тому ресурси мали розмірність гідрометеорологічних елементів або були безрозмірними величинами.

В усіх випадках агрокліматичні ресурси виражають за допомогою спеціальних показників.

Оцінювання світло- та теплозабезпеченості рослин. *Світлові ресурси* оцінюються за інтенсивністю і сумою інтегральної радіації та ФАР за певний період, числом годин сонячного сяйва, геліотермічним показником Жесліна (добуток суми температур на тривалість дня) та ін.

Термічні ресурси ґрунту характеризують сумами температур, що перевищують 0, 5, 10, 15 °С на глибинах відповідно 3, 10, 20, 25 см, сумами температур, нижчих за 0, –5, –10, –15 °С, коефіцієнтом прогрівання ґрунту — відношенням суми температур ґрунту понад 10 °С до суми температур повітря понад 10 °С.

Теплові ресурси території і теплозабезпеченість рослин оцінюють за такими показниками, як сума активних і ефективних температур, сума біокліматичних температур, сума температурних показників (термофізіологічних індексів), сума степеневих значень температури та ін.

Для агрокліматичної характеристики території за теплозабезпеченістю доцільніше застосовувати суми активних температур з виключенням із підрахунку днів з низькою і високою температурами, які затримують розвиток рослин.

Д.І. Шашко запропонував такі поняття, як суми кліматичних, біологічних та біокліматичних температур, розробив класифікацію польових культур за їх потребами в теплі та за теплозабезпеченістю.

Суми кліматичних температур виражають загальні ресурси тепла в певній місцевості і складаються із середніх добових температур повітря за період з температурами, які не гальмують розвиток рослин (понад 10 °С).

Суми біологічних температур виражають потреби рослин у теплі і є сумами середніх добових температур за період вегетації рослин даного виду і сорту.

Суми біокліматичних температур виражають кількість тепла, яке забезпечує щорічне достигання рослин або настання господарсько цінних фаз розвитку. Чисельно суми біокліматичних температур дорівнюють сумам біологічних температур за кліматичної теплозабезпеченості цієї суми на 80 – 90 %, що в умовах основних сільськогосподарських районів відповідає збільшенню суми біологічних температур на 200 – 300 °С (для гарантії настання певної фази розвитку).

Ізолінії сум кліматичних температур, які відповідають сумам біокліматичних температур, відображають кліматичні межі можливого вирощування тієї чи іншої культури.

Найдоцільніше суми кліматичних, біологічних та біокліматичних температур визначати за період із середньою добовою температурою понад 10 °С:

$$\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = \sum t_{\text{б}} + P_{\text{к}} + П_{\text{ш}} + П_{\text{м}} + П_{\text{к}} + 200\ (250, 300),$$

де $\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}}$ — сума біокліматичних температур понад 10 °С; $\sum t_{\text{б}}$ — сума біологічних температур; $P_{\text{к}}$ — різниця сум кліматичних температур за період із середньою добовою температурою понад 10 °С і біологічних температур (кліматична поправка); значення $P_{\text{к}}$, °С: для пшениці, жита, вівса, ячменю, гороху, льону, буряків, капусти — –150, соняшнику, картоплі — –50, цибулі, моркви — –200, кукурудзи, проса — 0, томатів, огірків — +100, бавовнику — +500; $П_{\text{ш}}$, $П_{\text{м}}$, $П_{\text{к}}$ — поправки відповідно на широту, мікрокліматичні особливості та континентальність місцевості (поправка на широту місцевості $П_{\text{ш}}$ дорівнює 0 – 15 °С на 1 град широти; поправка на мікрокліматичні особливості місцевості для широт 45 – 55° становить ±200 – 300 °С («+» — для відносно холодних місцеположень, «–» —для теплих)); 200 (250, 300) — числа, що відбивають відхилення сум кліматичних температур, які відповідають теплозабезпеченості 90 %.

За значенням біокліматичних температур, що характеризують теплозабезпеченість, культури поділено на такі групи:

- дуже ранні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} < 1200$ °С);
- ранні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = 1200…1600$ °С);
- середньоранні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = 1600…2200$ °С);
- середні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = 2200…2800$ °С);
- середньопізні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = 2800…3400$ °С);
- пізні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} = 3400…4000$ °С);
- дуже пізні ($\sum t_{\text{бк}>10\ ^\circ\text{C}} > 4000$ °С).

Дані щодо біокліматичних температур для деяких сільськогосподарських культур наведено в табл. 5.15.

Таблиця 5.15. **Потреба сільськогосподарських культур у теплі** (період сівба — достигання; за Д.І. Шашком)

Культура	Широта, град	Сума температур, ° С		Реакція на тривалість дня,° С
		біологічних	біокліматичних	
Яра пшениця	55	1300 – 1700	1350 – 1750	–10…–15
Овес	55	1300 – 1500	1350 – 1550	–15
Ячмінь	55	1200 – 1400	1250 – 1450	–10
Озиме жито	55	1350	1400	–30
Озима пшениця	50	1450	1500	–25
Рис	45	2000 – 3200	2600 – 3800	+15
Просо	55	1000 – 1700	1600 – 2000	+15
Кукурудза	55	2100 – 2900	2350 – 3150	0
Сорго	55	2200 – 2800	2800 – 3400	+10
Гречка	55	1200 – 1400	1480 – 1600	0
Горох	55	1050 – 1550	1150 – 1650	–6…–10
Квасоля	55	1500 – 1900	2050 – 2450	0
Соя	50	1800 – 3000	2050 – 3250	+8…+12
Кормові боби	50	1400 – 1800	1500 – 1800	0
Сочевиця	55	1400 – 1500	1500 – 1600	–6…–10
Чина	55	1600 – 1700	1700 – 1800	–6
Нут	55	1400 – 1600	1550 – 1760	0
Льон-довгунець	60	950 – 1300	1150 – 1500	–6
Льон олійний	50	1400 – 1500	1600 – 1700	–6
Соняшник	55	1600 – 2300	1900 – 2500	0
Коноплі	55	1300 – 1800	1500 – 2000	+6…12
Бавовник	40	2800 – 4000	3650 – 4750	0
Цукрові буряки	50	2000 – 2300	2100 – 2400	—
Картопля	50	1200 – 1800	1400 – 2000	—

Примітка. Реакція на тривалість дня — поправка до суми температур на 1 град широти.

Вірогідність достигання культур визначають за різницею біокліматичних і кліматичних температур та за кривою теплозабезпеченості (рис. 5.17). Якщо різниця між сумами біокліматичних і кліматичних температур є додатною, то вірогідність достигання знижується, і навпаки.

Для оцінювання теплових ресурсів з урахуванням денного максимуму температур і тривалості дня використовують *комплексний фототермічний індекс Давітая FT*:

$$FT = \sum_{Д_п}^{Д_к} \left[a\left(\overline{t} + \Delta t_{р-п} - t_0\right)\right] b,$$

де $Д_п$, $Д_к$ — дати відповідно початку і кінця фази розвитку рослин; a — коефіцієнт, що враховує вплив денного максимуму температури

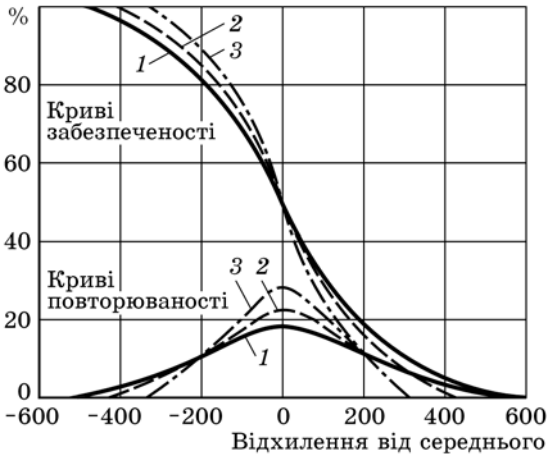


Рис. 5.17. Криві забезпеченості і повторюваності сум температур за період із температурою понад 10 °С (за О.М. Шульгіним):

1– 3 — періоди вегетації з температурами найтеплішого місяця відповідно <10, 10 – 15 і 17,5 – 25 °С

і гальмівних температур; $\overline{t}$ — середньодобова температура повітря, °С; $\Delta t_{р–п}$ — різниця температур рослинного покриву і повітря, °С; t_0 — біологічний нуль, °С; b — коефіцієнт, що враховує вплив тривалості дня.

Для оцінювання впливу температури на ріст рослин американський учений Б. Лівінгстон запропонував *термофізіологічні індекси приросту* — співвідношення середнього приросту рослин за годину за даної температури і приросту за початкової температури росту.

Оцінювання вологозабезпеченості рослин. Для характеристики зволоження використовують прямі і побічні показники. До *прямих належать* запаси продуктивної вологи в шарах ґрунту 0 – 20 і 0 – 100 см (мм), до *побічних* — гідротермічний коефіцієнт Селянинова, коефіцієнти зволоження Колоскова, Шашко, Сляднєва, Сенникова, Сапожникової, Кельчевської та ін.

Вологозабезпеченість рослин оцінюють за співвідношенням ресурсів вологи та її кількості, потрібної рослинам.

Для оцінювання вологозабезпеченості території Д.І. Шашко запропонував показник атмосферного зволоження — *коефіцієнт зволоження* $K_з$:

$$K_з = \frac{r}{\sum(E-e)} = \frac{r}{\sum d},$$

де r — сумарна кількість опадів за рік, мм; $\sum(E-e) = \sum d$ — сума середніх добових дефіцитів насичення водяної пари та дефіциту вологості повітря за той самий період, гПа.

Подібний показник зволоження M_d запропонував й Н.Н. Іванов:

$$M_d = \frac{r}{0{,}45\sum(E-e)},$$

де $0{,}45\sum(E-e) = 0{,}45\sum d$ — умовна випаровуваність, мм.

Умови зволоження в період інтенсивного росту трав задовільно можна оцінити за формулою Федосєєва:

$$M = \frac{W_{\text{в}} + r}{\sum d},$$

де $W_{\text{в}}$ — весняні запаси продуктивної вологи в шарі ґрунту 0 – 100 см, мм; r — кількість опадів за період від весняного визначення запасів вологи в ґрунті до моменту оцінювання умов зволоження, мм; $\sum d$ — сума середніх добових дефіцитів насичення водяної пари за той самий період, мм.

Потреби рослин у воді точніше можна визначити за *потенційною транспірацією*, якою Х.Л. Пенман схарактеризував кількість води, що транспірується за одиницю часу рослинами, які повністю затінюють ґрунт і забезпечені вологою.

Наведені показники характеризують умови атмосферного зволоження і не завжди точно — стан вологозабезпеченості рослин, тому до уваги треба брати зволоження кореневмісного шару ґрунту, яке визначається його водним режимом. Це пояснюють досить тісним кореляційним зв'язком між урожайністю сільськогосподарських культур і запасами вологи в ґрунті.

Ю.С. Мельник запропонував визначати ресурси вологи W за формулою

$$W = E_{\text{оп}} - \left(r - W_0 + W_{\text{г}}\right),$$

де $E_{\text{оп}} = \frac{kR}{q}$ — оптимальне водоспоживання; R — річний радіаційний баланс Дж/м^2; k — коефіцієнт, що враховує біологічні особливості культури, м^3/кг; q — прихована теплота випаровування, Дж/кг; r — кількість атмосферних опадів, мм; W_0 — запаси вологи на початок розрахункового періоду, мм; $W_{\text{г}}$ — кількість вологи, що надходить до кореневмісного шару з ґрунтових вод, мм.

На думку Л.С. Кельчевської, найдоцільніше характеризувати природні умови вологозабезпеченості за показником η:

$$\eta = \frac{W_{\text{ф}}}{W_{\text{о}}},$$

де $W_{\text{ф}}$ і $W_{\text{о}}$ — відповідно фактичні й оптимальні запаси вологи в метровому шарі ґрунту; останні відповідають 85 % найменшої вологоємності.

Комплексне оцінювання умов тепловологозабезпеченості посівів здійснюють за допомогою кількох показників.

Найчастіше застосовують *гідротермічний коефіцієнт Селянинова ГТК:*

$$ГТК = \frac{r}{0{,}1\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}},$$

де r — сумарна кількість опадів за певний період; $\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}$ — сума температур понад 10 °С за той самий період.

Недоліками *ГТК* є те, що його можна застосовувати тільки для характеристики періоду з температурою понад 10 °С, він не враховує весняних запасів вологи і як показник випаровуваності використовує лише температуру повітря.

Для усунення недоліків *ГТК* запропоновано модифіковані формули. Зокрема С.А. Сапожникова радить обчислювати коефіцієнт зволоження за виразом

$$K_з = \frac{W_в + r}{0{,}18\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}},$$

де $W_в$ — весняні запаси вологи в ґрунті, мм.

На думку Л.С. Кельчевської, при обчисленні аналога *ГТК* — коефіцієнта зволоження потрібно диференційовано враховувати кількості опадів зимового і вегетаційного періодів*:*

$$K_з = \frac{k\sum r_1 + \sum r_2}{0{,}1\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}},$$

де k — коефіцієнт поглинання осінньо-зимових опадів; $\sum r_1$, $\sum r_2$ — сумарні кількості відповідно осінньо-зимових і весняно-літніх опадів.

М.І. Будико запропонував умови зволоження оцінювати за показником

$$K_з = \frac{R}{qr},$$

де R — радіаційний баланс, Дж/м^2; q — прихована теплота випаровування, Дж/кг; r — сумарна кількість опадів за рік, мм.

Позитивним у цьому показнику є використання радіаційного балансу як точнішої характеристики енергетичних ресурсів порівняно з сумою температур понад 10 °С, а негативним — неможливість оцінити умови окремих періодів року і менша доступність даних щодо радіаційного балансу.

Сільськогосподарське оцінювання клімату можна здійснювати побудовою клімадіаграм.

Оцінювання умов перезимівлі рослин. Агрокліматичними показниками умов перезимівлі рослин є: абсолютний мінімум температур повітря (на висоті 2 м) і ґрунту (на глибині 3 см для вузла кущення озимих і на глибині 20 см для кореневої системи плодовоягідних культур); середній з абсолютних мінімумів температур повітря і ґрунту (на таких самих висоті і глибинах); сума мінусових температур повітря і ґрунту нижчих за 0, –5, –10, –15 °С; середня температура повітря найхолоднішого місяця. До інших показників належать сніжно-температурні коефіцієнти: відношення товщини снігового покриву за зиму до середньої температури повітря (Ріхтер) або до середньої з абсолютних річних мінімумів температури повітря (О.М. Шульгін).

Загальну характеристику умов перезимівлі дають за показниками суворості і сніжності зими. Перший визначають за середньомісячною температурою найхолоднішого місяця. За значенням цього показника виділяють зими: теплу (понад 5 °С), дуже м'яку (5 – 0 °С), м'яку (0…–5 °С), помірно м'яку (–5…–10 °С), помірно холодну (–10…–15 °С), холодну (–15…–20 °С), дуже холодну (–20…– 25 °С), помірно сувору (–25…–30 °С), сувору (–30…–35 °С), дуже сувору (–35…–40 °С), жорстоку (–40…–45 °С), дуже жорстоку (нижче за –45 °С). Сніжність оцінюють за товщиною снігового покриву в середині зими, за цим показником виділяють зими: безсніжну (менш як 5 см), дуже малосніжну (5 – 10 см), малосніжну (10 – 20 см), помірно сніжну (20 – 40 см), досить сніжну (40 – 60 см), багатосніжну (понад 60 см).

Наведені показники оцінюють агрокліматичні ресурси територій лише загалом, їх можна використовувати для перспективного планування сільського господарства. Для вирішення ж конкретних завдань — впровадження нових технологій вирощування окремих культур, поліпшення сортового складу тощо — потрібні показники, які дають змогу детальніше оцінити кліматичні особливості території стосовно конкретних культур, а також враховують вірогідність забезпечення рослин комплексом агрокліматичних умов в окремі роки.

Одним із кроків у цьому напрямі стала розробка *фізико-статистичних моделей* формування урожайності сільськогосподарських культур, позитивною стороною яких є відбиття агрокліматичних показників у значеннях урожайності, а не в опосередкованих показниках окремих складових клімату. Це дало змогу оцінювати біологічну продуктивність клімату стосовно конкретних культур певної території або різних територій стосовно окремої культури.

Фізико-статистичні моделі для оцінювання агрокліматичних ресурсів. Одним з основних методів оцінювання агрокліматичних ресурсів є оцінювання ґрунтів певної території за показниками *потенційної біологічної продуктивності*. При цьому виходять із положення, що в подібних умовах теплозабезпеченості продуктивність рослин визначається ступенем вологозабезпеченості, а в подібних умовах вологозабезпеченості — загальною теплозабезпеченістю. Спільний вплив тепло- і вологозабезпеченості на продуктивність рослин виражається *біокліматичним потенціалом БКП*:

$$БКП = K_{р(K_з)} \frac{\sum t_{ак}}{\sum t_{ак(баз)}},$$

де $K_{р(K_з)} = 1{,}5\lg(20K_з) - 0{,}21 + 0{,}63K_з - K_з^{\,2} \approx \lg(20K_з)$ — коефіцієнт росту за річним показником атмосферного зволоження ($K_з$), тобто відношення врожайності в даних умовах вологозабезпеченості до максимальної урожайності в умовах оптимальної вологозабезпеченості (за $K_з = 0{,}50$ створюються оптимальні умови для вологозабезпеченості рослин, при цьому $K_{р(K_з)} = 1{,}00$); $\sum t_{ак}$ — сума середніх добових температур повітря за період активної вегетації в певному місці (сума активних температур); $\sum t_{ак(баз)}$ — базисна сума середніх добових температур повітря за період активної вегетації, тобто сума, відносно якої здійснюють порівняння.

Базисні суми активних температур диференційовані так:

1000 °С — для порівняння продуктивності певної території з продуктивністю на межі масового польового землеробства (найчастіше *БКП* розраховують на основі цієї суми);

1900 °С — для порівняння з середньою продуктивністю, характерною для південно-тайгової зони;

3100 °С — для порівняння з продуктивністю за оптимальних умов росту в помірному поясі.

Оскільки відношення $\frac{\sum t_{ак}}{\sum t_{ак(баз)}}$ можна розглядати як *коефіцієнт росту за теплозабезпеченістю* $K_{р(t)}$, то *БКП* — це *сукупний коефіцієнт росту*:

$$БКП = K_{р(с)} = K_{р(K_з)} K_{р(t)}.$$

Він показує, у скільки разів швидше або повільніше можуть рости рослини відносно умов, взятих за еталон.

Для порівняльної оцінки (в балах) *біологічної продуктивності територій* ($Б_к$) відносно середньої по країні продуктивності і продуктивності в оптимальних умовах($Б_{к.опт}$) використовують формули

$$Б_к = К_{р(К_з)} \frac{\sum t_{ак} \cdot 100}{1900} \approx 53БКП;$$

$$Б_к \approx 53К_{р(КЗ)} \frac{\sum t_{ак}}{1000};$$

$$Б_{к.опт} = К_{р(К_з)} \frac{\sum t_{ак} \cdot 100}{3100} = 0{,}6Б_к.$$

За еталон (100 балів) взято *БКП* = 1,9. Щоб перейти від *БКП* до балів, значення *БКП* треба помножити на 53.

Показник *БКП* можна використовувати для розрахунку можливої урожайності сільськогосподарських культур за формулою

$$У = \frac{К_п}{К_{р(К_з)}} \cdot 10БКП,$$

де $У$ — урожайність культури, ц/га; $К_п$ — коефіцієнт продуктивності культури (урожайність, що припадає на 100 град суми температур за емпіричними даними; табл. 5.16).

Таблиця 5.16. **Коефіцієнти продуктивності зернових культур за різних коефіцієнтів зволоження** (за Д.І. Шашком)

Культура	Коефіцієнт зволоження $К_з$ (M_d)						
	0,15 (0,33)	0,25 (0,55)	0,35 (0,77)	0,45 (1,00)	0,55 (1,21)	0,65 (1,43)	0,75 (1,65)
Кукурудза	0,52	1,00	1,28	1,45	1,54	1,60	1,40
Озима пшениця	0,48	0,86	1,06	1,19	1,25	1,25	1,20
Озиме жито	0,47	0,86	1,07	1,20	1,27	1,29	1,28
Овес	0,58	1,10	1,87	1,52	1,59	1,60	1,56
Ячмінь	0,59	1,11	1,39	1,54	1,62	1,64	1,59
Яра пшениця	0,47	0,81	1,00	1,08	1,11	1,04	1,02
У середнє значення	0,51	0,95	1,19	1,33	1,39	1,40	1,38

Визначивши показник зволоження за місцерозташуванням господарства, можна розрахувати можливу урожайність сільськогосподарських культур.

За допомогою *БКП* оцінюють ресурси тепла і вологи місцевості без урахування вимог окремих культур та їхніх сортів, що не дає

змоги вирішувати завдання агрокліматичного обґрунтування розміщення і технологій вирощування культур повною мірою.

Для комплексної характеристики (бонітету) клімату використовують показник *П*, запропонований Л.А. Сапожниковою і Д.І. Шашком:

$$П = \frac{У \cdot 100}{\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}},$$

де $У$ — урожайність культури, ц/га; $\sum t_{>10\,^\circ\mathrm{C}}$ — сума активних температур повітря понад 10 °С.

Серед закордонних фізико-статистичних моделей для оцінювання агрокліматичних ресурсів території слід виділити *модель Хейєса*, яка ґрунтується на зв'язку урожайності з сумарною випаровуваністю:

$$У_{\text{п.м}} = У_{\text{м}} - У_{\text{м}} K \left(1 - \frac{E_a}{E_m}\right),$$

де $У_{\text{п.м}}$ — практично можлива урожайність культури, кг/га; $У_{\text{м}}$ — потенційно можлива урожайність культури або максимальна урожайність за досягнутого рівня землеробства в умовах оптимальної тепловологозабезпеченості, кг/га; K — коефіцієнт, який залежить від культури та фази її розвитку; E_a — фактичне сумарне випаровування, мм; E_m — максимальна сумарна випаровуваність рослинним покривом, мм.

Аналогічну формулу запропонував Х.Г. Тоомінг:

$$У_{\text{п.м}} = У_{\text{п}} - 100 \eta_{\text{п}} k_{\text{госп}} \frac{\sum Q_{\text{ФАР}}}{q} \left[1 - \frac{E}{E_0}\right],$$

де $У_{\text{п}}$ — потенційна врожайність, ц/га; $\eta_{\text{п}}$ — коефіцієнт використання ФАР посівом, %; $k_{\text{госп}}$ — коефіцієнт господарської ефективності урожаю, %; $\sum Q_{\text{ФАР}}$ — сумарне надходження ФАР за вегетаційний період, МДж/м^2; q — енергетична цінність урожаю, МДж/кг; E і E_0 — відповідно сумарне випаровування і випаровуваність, мм.

З інших фізико-статистичних моделей слід згадати комплексну модель О.Р. Константинова і В.П. Дмитренка, в якій основні чинники, що впливають на урожайність сільськогосподарських культур (біологічні особливості, температура і вологість повітря, умови перезимівлі, запас продуктивної вологи в ґрунті, попередник, удобрення), враховуються за допомогою графічних регресій; модель де Віта і Хенкса, яка базується на залежності урожайності від транспірації посіву, що є показником вологозабезпеченості.

Моделі продуктивності для оцінювання агрокліматичних ресурсів поділяють на дві групи. У *моделях першої групи* визначальними чинниками продуктивності є світловий і температурний режими, а також режим зволоження рослин. В цю групу входять *модель біосферних процесів,* яка встановлює залежність річної продукції від кліматичних чинників, *просторово розподілена модель біосфери*, *модель глобальних природних процесів*.

Моделі другої групи більш деталізовані, їх призначення — оцінювання ресурсів клімату щодо продуктивності рослин.

Модель еталонних урожаїв, запропонована Х.Г. Тоомінгом, передбачає порівняння таких категорій урожайності: потенційної ($У_{п}$), дійсно можливої ($У_{д.м}$) і виробничої ($У_{в}$).

Потенційна урожайність — це урожайність сорту в ідеальних метеорологічних умовах або за оптимального водно-теплового режиму. Її розраховують за формулою

$$У_{п} = \frac{\eta_{пот} k_{госп} \sum Q_{ФАР}}{100q},$$

де $\eta_{пот}$ — середній за вегетаційний період потенційний коефіцієнт використання посівом ФАР; $k_{госп}$ — коефіцієнт господарської ефективності врожаю; $\sum Q_{ФАР}$ — сумарне надходження ФАР за вегетаційний період, МДж/га; q — енергетична цінність урожаю, МДж/кг.

Дійсно можливою урожайністю вважають максимально можливу урожайність культури або сорту за даних агрометеорологічних умов (кліматично забезпечена врожайність). Для її розрахунку використовують залежність

$$У_{д.м} = У_{п} F_1(x_1) F_2(x_2) ... F_i(x_i),$$

де $F_i(x_i)$ — функція, що виражає залежність урожайності від чинника x_i.

$У_{д.м}$ тим більше різниться від $У_{п}$, чим більше метеорологічні чинники відхиляються від оптимальних.

Іншими моделями другої групи є *всесвітня модель урожаю* різних сільськогосподарських культур YIELD, модель AEZ (ФАО), модель MOIRA, модель МОРСР.

В основу *динаміко-статистичної моделі оцінювання агрокліматичних ресурсів В.О. Жукова та ін.* покладено концепцію Х.Г. Тоомінга щодо максимальної продуктивності рослин. Суть її полягає в тому, що під час вегетативного росту посів намагається досягнути максимальної продуктивності, але цьому перешкоджає невідповідність чинників навколишнього середовища їхнім оптимальним значенням (сонячна радіація, водний і тепловий режими тощо).

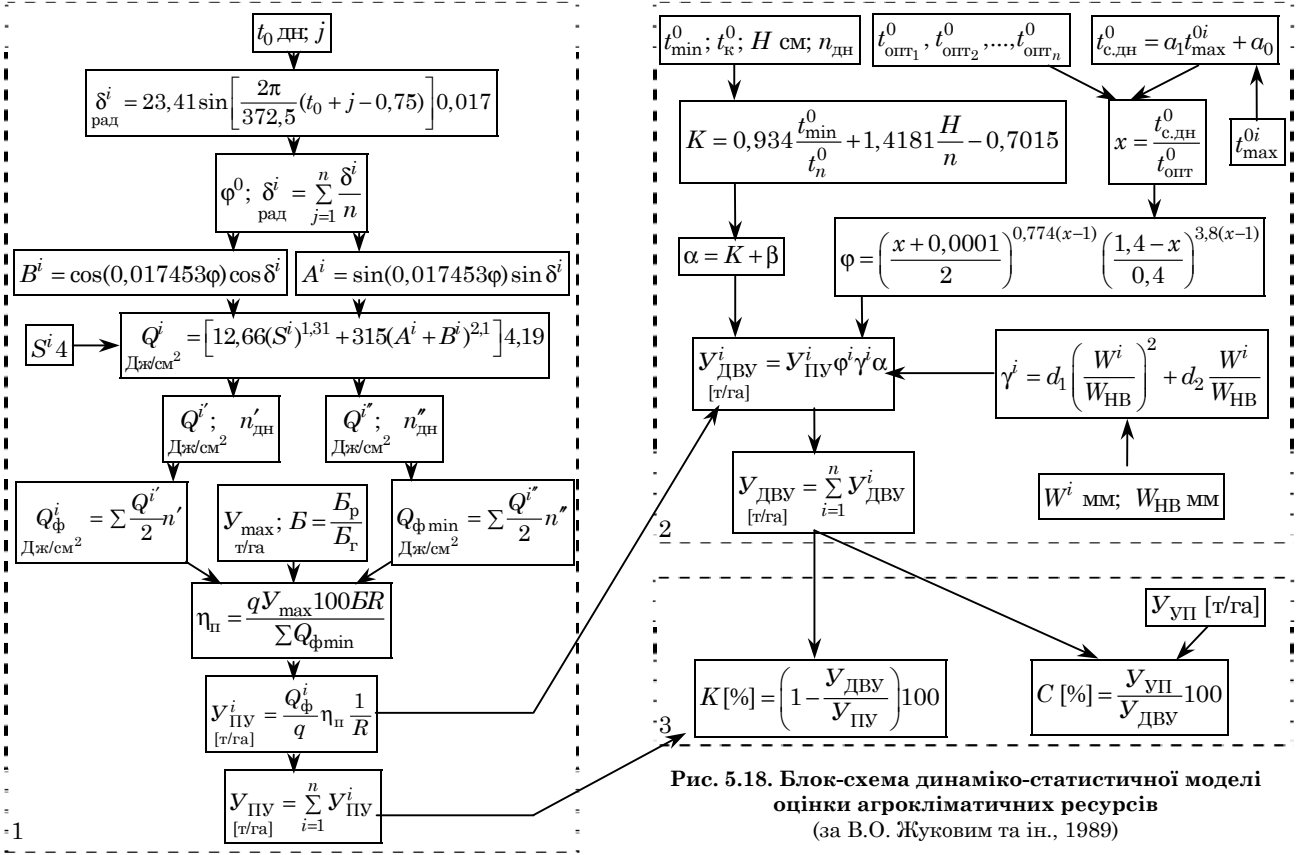


Рис. 5.18. Блок-схема динаміко-статистичної моделі оцінки агрокліматичних ресурсів
(за В.О. Жуковим та ін., 1989)

Основою моделі є розрахунок потенційної та дійсно можливої урожайності (рис. 5.18).

Перший блок — алгоритм розрахунку $У_{п}$, *другий* — розрахунку $У_{д.м}$, *третій* — розрахунку комплексних показників кількісної оцінки агрокліматичних умов формування продуктивності сільськогосподарських культур:

- «показника степеня несприятливості кліматичних умов» (характеризує розміри втрат урожаю, зумовлені їх обмежувальним впливом):

$$K = \left(1 - \frac{У_{д.м}}{У_{п}}\right) \cdot 100;$$

- «коефіцієнта використання агрокліматичних ресурсів» (характеризує досягнутий рівень використання агрокліматичних ресурсів у виробничих умовах):

$$C = \frac{У_{в}}{У_{д.м}} \cdot 100,$$

де $У_{в}$ — виробнича врожайність.

Агрокліматичні ресурси України

Агрокліматичне районування. Розподіл сонячної радіації на земній кулі — визначального кліматотворного чинника — має виражений широтний характер. Відповідна закономірність спостерігається і в розподілі кліматичних умов. Інші кліматотворні чинники (структура підстильної поверхні, рельєф суходолу, морські течії, льодовики, атмосферна циркуляція) визначають регіональні особливості клімату. Л.С. Берг виділив 12 кліматів земної кулі.

1. Вічної мерзлоти. Середньомісячні температури тут завжди нижчі за 0 °С (льодові плато Північної Землі, Землі Франца-Йосифа, Гренландії).

2. Тундри. Тривала і холодна зима. Сумарна кількість опадів 200 – 300 мм. Середньомісячна температура найтеплішого місяця від 0 до 10 – 12 °С.

3. Тайги. Сумарна кількість опадів — 300 – 600 мм, температура липня — 10 – 20 °С, січня — до –30 °С і нижче.

4. Широколистяних лісів помірної зони. Сумарна кількість опадів 500 – 700 мм.

5. Мусонний. Зима суха, літо тепле, дощове.

6. Степів. Сумарна кількість опадів до 450 мм, найбільше їх випадає влітку.

7. Середземноморський — субтропіки. Сумарна кількість опадів 300 – 1000 мм. Літо жарке, зима тепла, волога.

8. Субтропічних лісів. Зима відносно тепла, середня температура найхолоднішого місяця перевищує 2 °С. Літо жарке зі значною кількістю опадів (понад 1000 мм).

9. Внутрішньоматерикових пустель. Сумарна кількість опадів менш як 250 мм. Зима прохолодна.

10. Тропічних пустель. Опадів менш як 250 мм. Літо дуже спекотне, зима тепла.

11. Саван (тропічного лісостепу). Середня температура найтеплішого місяця 25 – 30 °С, найхолоднішого — понад 18 °С. Сумарна кількість опадів — 1000 – 2000 мм.

12. Вологих тропічних лісів. Середня температура найхолоднішого місяця понад 18 °С, опадів більш як 1500 мм.

Згідно з цією класифікацією, клімат визначає особливості рослинності і розміщення природних зон, за назвами яких названо і клімати земної кулі.

Агрокліматичне районування — це поділ території країни за ознаками подібності та відмінності агрокліматичних умов. Його основою є показники, визначальні для спеціалізації сільського господарства. Основне призначення — поліпшення використання агрокліматичних ресурсів з метою підвищення продуктивності сільського господарства, зменшення витрат непоновлюваних ресурсів, у тім числі природних.

Розрізняють *загальне* і *спеціальне* районування.

Загальне районування, за Д.І. Шашком, передбачає виділення агрокліматичних поясів і підпоясів, зон, провінцій, округів.

Агрокліматичний пояс — це природне утворення з властивими йому типами рослинності і ґрунтів, можливостями і типом сільськогосподарського виробництва.

Агрокліматична зона є основною одиницею агрокліматичного районування, характеризується певним річним поєднанням тепла і вологи, тісно пов'язаним з головними особливостями живлення рослин.

Агрокліматичною провінцією є частина зони з комплексом кліматичних чинників, які визначають специфічні особливості ґрунтового покриву, відмінність у складі та продуктивності природної і культурної рослинності, провінційні типи сільськогосподарського виробництва.

Агрокліматичний округ — це частина провінції, яка характеризується великими геоморфологічними особливостями (загальною

будовою рельєфу, складом ґрунтотворних порід, переважним типом ґрунтотворення), що визначають особливості мезо- і мікроклімату.

Пояси і зони характеризують сумами активних температур ($\sum t_{ак}$) і коефіцієнтом річного зволоження $\left(K_з = \frac{r}{\sum d}\right)$; провінції — коефіцієнтом континентальності ($K_к$), сумами активних температур ($\sum t_{ак}$), тривалістю основного періоду вегетації з температурою повітря понад 10 °С, середніми температурами найтеплішого і найхолоднішого місяців, річною кількістю опадів, коефіцієнтом річного зволоження, товщиною снігового покриву, кліматичним індексом біологічної продуктивності.

Пояс поділяють на *підпояси*:

- помірно холодний (1200 (1000) – 2200 (2000) °С — ранніх культур зі зниженими вимогами до тепла і коротким вегетаційним періодом — зернових колосових, зернобобових, картоплі, льону та ін.);
- помірний (2200 (2000) – 4000 °С — середніх і пізніх культур з порівняно підвищеними вимогами до тепла — кукурудзи на зерно, рису, сої, цукрових буряків тощо).

За *показником теплозабезпеченості* Г.Т. Селянинов виділив такі зони:

I — північного городництва або виключно кормова (сума активних температур понад 10 °С ($\sum t_{ак>10\,°C}$) = 1000…1400 °С);

II — північних зернових культур з великим поширенням льону, картоплі, кормових рослин ($\sum t_{ак>10\,°C}$ = 1400…2000 °С);

III — кукурудзи, олійних культур і частково цукрових буряків спільно з озимою пшеницею в західних районах і твердими ярими пшеницями — у східних ($\sum t_{ак>10\,°C}$ = 2200…3500 °С);

IV — субтропічних однорічних рослин ($\sum t_{ак>10\,°C}$ > 3500 °С);

V — власне субтропічна ($\sum t_{ак>10\,°C}$ > 4000 °С).

За загальним агрокліматичним районуванням до помірного поясу за показником теплозабезпеченості належить територія із сумою активних температур 1200 (1000) – 4000 °С.

На основі річних значень показника атмосферного зволоження ($K_з = \frac{r}{\sum d}$, де r — сумарна кількість опадів, $\sum d$ — сума середніх добових значень дефіциту вологи, мм) виділяють *типи зволоження*:

I тип — кількість опадів за рік перевищує можливе випаровування ($K_з$ > 0,45, M_d >1,0);

II тип — кількість опадів за рік менша за випаровування ($K_з$ = = 0,45…0,15; M_d = 1,0…0,33);

III тип — випаровування значно перевищує кількість опадів ($К_з < 0,15$, $M_d < 0,33$).

Відповідно до цих типів виділяють *області достатнього, недостатнього та незначного зволоження*. В межах області достатнього зволоження розрізняють зони *надлишково вологу* ($К_з > 0,60$, $M_d > 1,33$) та *вологу* ($К_з = 0,45…60$, $M_d = 1,00…1,33$, — листяні ліси на підзолистих і бурих ґрунтах), у межах області недостатнього зволоження — *підобласть слабкопосушливу* (зону вологу — $К_з = 0,35…0,45$, $M_d = 0,77…1,00$ — лісостеп), *підобласть посушливу* (зони *напівпосушливу* — $К_з = 0,25…0,35$, $M_d = 0,55…0,70$ — типовий степ; *посушливу* — $К_з = 0,20…0,25$, $M_d = 0,44…0,55$ — степ на південних чорноземах; *дуже посушливу* — $К_з = 0,15…0,20$, $M_d = 0,33…0,44$).

За *показником вологозабезпеченості* виділяють такі *зони*:

I — надлишкового зволоження, або дренажу, $ГТК > 1,3$;

II — забезпеченого зволоження, $ГТК = 1,0…1,3$;

III — посушливу, $ГТК = 0,7…1,0$;

IV — сухого землеробства, $ГТК = 0,5…0,7$;

V — суху, або іригації, $ГТК < 0,5$.

Найліпші умови для отримання високих урожаїв зернових культур за весняної сівби створюються при $ГТК = 1,0…1,4$, для післяукісних і післяжнивних культур — 1,4 – 1,6.

За середніми багаторічними значеннями $ГТК$ у період найбільшої потреби сільськогосподарських культур у воді (червень — серпень) на території України виділено такі зони (за М.Ф. Цупенком):

1 — оптимальних значень $ГТК$ (1,3 – 1,6) — охоплює райони на захід і на північ від лінії Глухів — Київ — Білопілля — Вінниця — Чернівці (Полісся);

2 — слабкопосушлива ($ГТК = 1,0…1,3$) — з північного заходу обмежена лінією зони 1, а з півдня — лінією Затишшя (Одеська обл.) — Гайворон — Бобринець — Кіровоград — Полтава — Харків — Куп'янськ (Лісостеп);

3 — посушлива ($ГТК = 0,7…1,0$) — з півдня обмежена лінією Маріуполь — Мелітополь — Михайлівка (Запорізька обл.) — Миколаїв — Біляївка (Одеська обл.) (Степ);

4 — дуже посушлива ($ГТК = 0,4…0,7$) — на південь від зони 3.

Спеціальне агрокліматичне районування здійснюють стосовно окремих культур, свійських тварин або невеликих територій.

Складовою частиною агрокліматичного районування є районування території за кліматом ґрунту.

Території, подібні за кліматичними умовами існування екологічних груп рослин, свійських тварин і прийомами землеробства, називають *агрокліматичними аналогами*. Головним при їх виділенні є спільність провідних елементів клімату, які визначають оптимальний перебіг вегетації рослин та прийоми землеробства, а не подібність загальних характеристик клімату. Враховують важливі в окремі періоди вегетації рослин елементи клімату: тривалість дня, інтенсивність і спектральний склад сонячної радіації, температури ґрунту і повітря, сумарні кількості опадів тощо, а також несприятливі умови — приморозки, посухи та ін.

Агрокліматичні аналоги розроблені і для окремих культур. Вони дають змогу вирішувати завдання розміщення галузей сільськогосподарського виробництва, диференціації меліоративних заходів, визначення потенційної продуктивності клімату тощо.

Агокліматичні умови в Україні. Перехід середньодобової температури повітря через 0 °С в бік плюсових температур прийнято вважати за початок весни, в бік мінусових — за закінчення осені.

Вегетація більшості сільськогосподарських культур обмежується періодом із середньодобовими температурами повітря понад 5 °С, теплолюбних — понад 10 °С, а найактивніша вегетація рослин за температури понад 15 °С (табл. 5.17).

Таблиця 5.17. **Агрокліматичні умови вегетаційного періоду в Україні**

Зона	Середньобагаторічні дати стійкого переходу середньодобових температур через граничні рівні та тривалість періодів (діб) з вищими температурами								Дати приморозків		Середня тривалість безморозкового (безморозного) періоду, діб
	0 °С		5 °С		10 °С		15 °С		найпізніших навесні	найраніших восени	
	Дата	Число діб	Дата	Число діб	Дата	Число діб	Дата	Число діб			
Степ	09.03–02.12	268	02.04–05.11	217	21.04–13.10	175	12.05–19.09	130	11.05–25.05	31.08–17.09	158–188
Лісостеп	07.03–22.11	250	04.04–31.10	210	24.04–02.10	161	20.05–08.09	110	23.05–02.06	04.09–15.09	158–170
Полісся	05.03–28.11	258	07.04–28.10	205	27.04–01.10	157	30.05–03.09	96	23.05–02.06	04.09–17.09	156–171

Коротку характеристику агрокліматичних умов холодного періоду року наведено в табл. 5.18.

Таблиця 5.18. **Агрокліматичні умови холодного періоду року в Україні**

Агрокліматичний показник	Зона	Місяць				
		Листопад	Грудень	Січень	Лютий	Березень
Середньобагаторічна сума мінусових температур повітря за зимовий період наростаючим підсумком, °С	Степ	–0	–65	–210	–320	–340
	Лісостеп	–5	–105	–300	–430	–465
	Полісся	0	–75	–235	–350	–370
Середня глибина промерзання ґрунту на кінець місяця, см	Степ	*	20	30	35	*
	Лісостеп	5	25	45	50	30
	Полісся	5	20	30	40	10
Середньобагаторічна товщина снігового покриву, см	Степ	**	1	4	4	1
	Лісостеп	**	4	9	11	4
	Полісся	**	5	10	11	3
Абсолютний мінімум температури ґрунту, °С, на глибині залягання вузла кущіння	Степ	–19	–22	–22	–22	–22
	Лісостеп	–14	–24	–24	–24	–16
	Полісся	–14	–25	–23	–22	–15
Абсолютний мінімум температури повітря, °С	Степ	–28	–34	–42	–40	–35
	Лісостеп	–27	–35	–41	–39	–37
	Полісся	–33	–40	–42	–39	–37

* Промерзання трапляється через 1 – 3 роки і рідше. ** Сніговий покрив буває через 1 – 3 роки і рідше.

Агрокліматичні ресурси України. Дані щодо світлових, теплових ресурсів та умов зволоження в середньому по ґрунтово-кліматичних зонах України наведено в табл. 5.19.

Таблиця 5.19. **Агрокліматичні ресурси України**

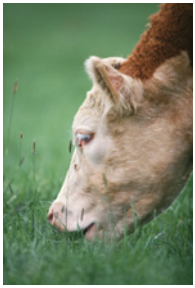
Агрокліматичний показник		Зона	Місяць														За рік
			Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Квітень–жовтень		
Середньобагаторічна сума температур повітря наростаючим підсумком, °С																	
активних	>0	Степ			50	310	800	1385	2070	2725	3195	3480	3580	3590	3430	3590	
	>5				5	260	745	1330	2015	2670	3145	3435	3490		3430	3490	
	>10					120	605	1190	1875	2530	3005	3155			3155	3155	
	>15						345	930	1615	2270	2600				2600	2600	
	>0	Лісостеп			25	255	635	1230	1835	2410	2820	3050	3110		3025	3110	
	>5					210	655	1190	1790	2365	2775	2985	2990		2985	2990	
	>10					70	520	1050	1655	2225	2640	2660			2660	2660	
	>15						185	715	1320	1890	2010				2010	2010	
	>0	Полісся			45	280	715	1230	1810	2365	2770	3045	3090		3000	3090	
	>5				10	225	660	1175	1760	2315	2720	2950	2960		2940	2960	
	>10					70	505	1020	1600	2155	2565	2595			2595	2595	
	>15						125	640	1225	1780	1865				1865	1865	
ефективних	>5	Степ				115	445	885	1410	1910	2235	2365	2375		2365	2375	
	>10					15	190	475	850	1195	1370	1385			1385	1385	
	>15						30	170	390	580	625				625	625	
	>5	Лісостеп				85	375	760	1205	1625	1890	1965			1965	1965	
	>10					5	145	375	670	930	1045				1045	1045	
	>15						10	90	230	340	345				345	345	
	>5	Полісся				90	370	735	1160	1560	1820	1905	1910		1905	1910	
	>10					10	130	345	620	860	970				970	970	
	>15					5	70	190	280	285					285	285	

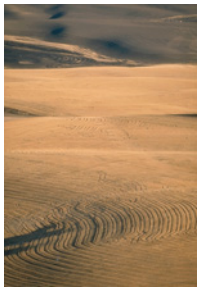
Закінчення табл. 5.19

Агрокліматичний показник	Зона	Місяць													За рік
		Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень	Квітень – жовтень	
Середньобагаторічні значення сумарної ФАР, МДж/м²	Степ	65	96	175	238	321	342	351	303	225	141	68	45	1921	2374
	Лісостеп	58	92	168	223	298	319	323	280	203	119	55	42	1765	2177
	Полісся	56	90	169	225	288	307	311	266	188	117	53	40	1702	2112
Середньобагаторічна кількість опадів, мм	Степ	37	28	29	34	44	58	52	43	33	33	37	40	297	468
	Лісостеп	35	32	33	44	58	74	80	62	46	43	43	39	410	592
	Полісся	41	36	38	49	66	87	92	76	52	49	50	46	478	689
Середньобагаторічні значення дефіциту вологості повітря, гПа	Степ	0,6	0,7	1,4	4,2	7,4	9,9	12,2	11,4	7,2	3,1	1,2	0,7	7,9	5,0
	Лісостеп	0,6	0,6	1,2	3,8	6,7	8,2	8,7	7,8	5,2	2,4	1,0	0,6	6,1	3,9
	Полісся	0,7	0,8	1,6	3,6	5,8	6,8	7,2	6,2	4,2	2,3	1,1	0,8	5,2	3,4
Середньобагаторічний *ГТК*	Степ				1,3	0,9	1,0	0,8	0,7	0,7	1,2			1,2	
	Лісостеп				1,9	1,3	1,3	1,3	1,2	1,1	1,9			1,4	
	Полісся				2,1	1,5	1,7	1,6	1,4	1,4	2,0			1,6	
Середньобагаторічне число днів з відносною вологістю повітря 30 % і нижче (теплий період року)	Степ				5	7	6	7	7	4	1			37	
	Лісостеп				4	5	3	2	3	2	1			20	
	Полісся				2	3	1	1	1	1	1			10	
Абсолютний максимум температури повітря, °С	Степ	21	26	30	34	36	40	42	42	39	36	30	23	42	42
	Лісостеп	16	17	26	33	35	39	41	40	37	33	29	18	41	41
	Полісся	18	19	28	32	34	39	39	41	37	32	30	19	41	41

Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під кліматичною системою та які кліматотворні чинники ви знаєте? **2.** Назвіть кліматичні чинники, схарактеризуйте їх вплив на організми. **3.** Як впливають кліматичні чинники на мінеральне живлення рослин, розвиток та поширення шкідників і хвороб рослин? **4.** Схарактеризуйте закономірності режиму сонячної радіації та формування радіаційного балансу в агроекосистемі. **5.** Сформулюйте закономірності теплового режиму та формування теплового балансу в агроекосистемі. **6.** Схарактеризуйте закономірності водного режиму та формування водного балансу в агроекосистемі. **7.** Вкажіть причини основних екстремальних явищ теплого періоду року. Наведіть заходи щодо запобігання або мінімізації їх. **8.** Які несприятливі умови можуть складатися для організмів узимку? Які заходи здійснюють для мінімізації їх можливих наслідків? **9.** Схарактеризуйте загальні принципи та порядок сільськогосподарського оцінювання клімату. **10.** Назвіть моделі оцінювання агрокліматичних ресурсів та дайте їх коротку характеристику. **11.** Сформулюйте принципи й методику агрокліматичного районування території. **12.** Дайте порівняльну оцінку агрокліматичних ресурсів основних ґрунтово-кліматичних зон України.



Розділ 6

БІОГЕОХІМІЧНІ ЦИКЛИ БІОФІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У біосфері, як і в кожній з елементарних екосистем, з яких вона складається, постійно здійснюється колообіг хімічних речовин — біогенів. Під *біогенами* слід розуміти речовини, в тім числі й хімічні елементи, необхідні для існування живих організмів.

Колообіг біогенів — це взаємний обмін хімічних елементів між екологічними компонентами, які утворюють завдяки цьому комплексну структуру екосистеми. Інакше кажучи, *біологічний колообіг речовин* — це процес утворення живої речовини та її подальшої трансформації і деградації; тим самим простежуються два аспекти єдиного процесу. Основою трансформації і перетворення речовин у рослинах є взаємозалежність і взаємообумовленість двох протилежних груп процесів: анаболічних реакцій, пов'язаних з асиміляцією, тобто синтезом різноманітних речовин, і катаболічних, дисиміляційних, у результаті яких складні сполуки розкладаються на простіші. Синтез і розкладання, асиміляція і дисиміляція, анаболізм і катаболізм — це два типи процесів, які лежать в основі життя взагалі і в основі життєдіяльності всіх рослинних форм зокрема. Катаболічні реакції у рослинах значно різняться від реакцій розкладання в неживій природі. Як і всі перетворення речовин в організмі, вони відбуваються за участю різноманітних ферментів, як правило, не закінчуються утворенням кінцевих продуктів розпаду, а тісно пов'язані з реакціями синтезу. Значна кількість отриманих у ре-

зультаті цих перетворень проміжних сполук є необхідними вихідними речовинами для різноманітних синтезів. Напрямок, в якому відбуваються такі процеси, залежить від специфічності ферментативної діяльності (гетероциклічна функція ДНК) відповідного виду рослин на певному етапі їх онтогенетичного розвитку під впливом умов зовнішнього середовища.

Суть такого унікального винаходу природи полягає в тім, що існує постійна невідповідність між потребами в елементах побудови живих організмів та їх наявністю в середовищі, а це зумовлює потребу повторного використання біогенних хімічних елементів за типом колообігу. В процесі колообігу жива речовина акумулює енергію, а в процесі її розпаду — енергія повертається в навколишнє середовище. За рахунок вивільненої біологічної енергії відбуваються фізичні, хімічні та біологічні реакції. Колообіг речовин характерний для екосистем будь-якого рівня організації — від окремого комплексу живих організмів і середовища (біогеоценозу) до біосфери загалом. Щорічно такі цикли приводять в рух близько 480 млрд т речовин (переважно біогенних елементів).

Колообіг речовин — це багаторазове використання їх у процесах, що відбуваються в атмосфері, гідросфері, літосфері, в тім числі в тих їх шарах, які входять до складу біосфери планети. Слід зауважити, що практично здійснюють повний колообіг не речовини, а хімічні елементи, тому точнішим є вираз «колообіг хімічних елементів».

Організатором колообігу в біосфері є життєдіяльність організмів, саме завдяки їй відбувається міграція хімічних елементів на Землі. Щоб біосфера могла існувати нескінченно і не припинявся розвиток життя, мають відбуватися безперервні хімічні перетворення її живої речовини, тобто після використання одними організмами речовини мають переходити в засвоювану іншими організмами форму.

Циклічна міграція речовин і хімічних елементів відбувається тільки за певних затрат енергії, яка надходить від Сонця. Тому під біохімічними циклами розуміють колообіг хімічних речовин із неорганічної природи через рослинні і тваринні організми в неорганічне середовище і навпаки. Цей процес здійснюється з використанням сонячної енергії й частково — енергії хімічних реакцій.

Загалом простежується планетарна циклічність — закономірне повторення процесів в абіотичному середовищі. Наприклад, циклічність коливань земної кори, циркуляція атмосфери й води в океанах.

Основи вчення про природні колообіги речовини й енергії були закладені В.І. Вернадським, В.Р. Вільямсом, А.П. Виноградовим та їхніми учнями.

Розрізняють два основні колообіги речовин: *великий* (геологічний, біосферний) і *малий*, або біотичний, який охоплює всю планету

і є складовою частиною великого колообігу. Під геологічним (великим) колообігом розуміють обмін речовини й енергії між земним суходолом і Світовим океаном. У геологічному колообігу насамперед відбувається циркуляція води, яка включає атмосферні опади, поверхневі і підземні стоки, інфільтрацію, випаровування, перенесення водяної пари в атмосфері, конденсацію, повторне випадання атмосферних опадів. Разом з водою переміщуються величезні маси розчинених у ній речовин, які виносяться поверхневими водами в океан і осідають на дні або у вигляді делювіальних відкладів потрапляють у ґрунт.

Колообіг води між океаном і суходолом — важливий чинник підтримання нормального росту, розвитку і розмноження живих організмів на землі, а також обов'язкова умова обміну речовини між живою і неорганічною природою. Вода — необхідний чинник життя, інгредієнт живої структури клітин, джерело водню в процесі фотосинтезу, середовище існування організмів. Вона є потужним трансформаційним чинником, гігантською силою перетворення літосфери.

Для біосфери загалом, як і для земної кори, характерні *ритмічність* і *циклічність* розвитку. Вони виявляються в процесах магматизму, осадоутворення, змінах клімату (чергування холодних і теплих періодів), гороутворення та в багатьох інших геологічних явищах. Найбільш ритмічний, поступальний розвиток властивий живим організмам. Встановлено ритми і цикли різної тривалості — від 11-річного, зумовленого сонячною активністю, до мегациклу 180 – 240 млн років, що збігається з галактичним роком, тобто часом обертання Землі разом із Сонячною системою навколо центра нашої Галактики. При цьому відбувається не «сліпе» повторення процесів, а їх трансформаційний розвиток, тобто речовина й енергія рухаються не по замкненому колу, а по спіралі, в кожному циклі біосфера не повертається до того стану, в якому перебувала раніше.

Одним із найголовніших геологічних чинників сьогодні є *антропогенний*. Він небувало прискорив колообіг деяких речовин. Родовища заліза, міді, цинку, свинцю, нафти, газу, кам'яного вугілля, багатьох інших речовин і хімічних елементів, які природа накопичувала протягом мільйонів років, швидко вичерпуються. Все це призводить до збільшення нерівноважності біосфери. Людина не лише прискорює геологічний колообіг, а й залучає в нього елементи, які були давно вилучені. Здійснюючи меліорацію, створюючи водосховища, дістаючи воду з глибинних водоносних горизонтів, людина втручається в колообіг води в природі. Отже, природу Землі неможливо повернути в той стан, в якому вона перебувала до початку розвитку антропогенного чинника. Природні ландшафти змінюються штучно створеними; первісна природа поступається вторинній. Наше завдання — діяти виважено, обдума-

но, науково обґрунтовано, щоб не завдати природі непоправної шкоди, бо нічого з того, що робиться і буде зроблено з живою природою виправити неможливо.

Отте, *біологічний колообіг речовин* — це послідовна безперервна циркуляція хімічних елементів, яка відбувається за рахунок сонячної енергії і підтримується сукупністю організмів, об'єднаних ланцюгами живлення. Виявляється в процесах зародження, живлення, дихання, розмноження, смерті, розкладання організму. Біологічний колообіг речовин складається з процесів утворення органічних речовин з елементів, які містяться в повітрі, ґрунті, воді, і наступного розкладання цих речовин, внаслідок чого елементи переходять у мінеральну форму. За участю живих організмів відбувається колообіг вуглецю, кисню, водню, азоту, фосфору, сірки, натрію, калію, кальцію, магнію, заліза, мангану, кобальту, цинку, міді та інших елементів. Біологічний обмін речовин забезпечує постачання потрібних елементів зовнішнього і внутрішнього середовища живим організмам і підтримує їх сталість.

6.1. Загальні особливості біологічного та біогеохімічного колообігів біогенних елементів в агроекоценозах

З виникненням живої речовини сформувався біологічний (біотичний) колообіг, який називають також *великим біосферним колом біотичного обміну*. Це безупинний планетарний процес закономірного циклічного, нерівномірного в часі і в просторі перерозподілу речовини, енергії, інформації, що багаторазово входять у безперервно оновлювані екологічні системи біосфери. Виділяють і малий (біогеоценотичний) колообіг, який різниться тим, що відбувається в межах елементарної екологічної системи — біогеоценозі. Вперше найповніше сформулював основні принципи біогенної міграції стоків на земній поверхні і в біосфері загалом В.І. Вернадський. Він довів, що цей процес або здійснюється за безпосередньої участі живої речовини, або відбувається в середовищі, геохімічні особливості якого зумовлені живою речовиною, що населяє або населяла його.

Біологічний (біотичний) колообіг полягає в циклічній циркуляції речовини між ґрунтом, рослинами, тваринами, мікроорганізмами і грибами. Суть її — поглинання мінеральних речовин, включення їх до складу рослинних організмів, далі через ланцюги живлення — в організми тварин і через ланку редуцентів — повернення назад в атмосферу або ґрунт.

Біологічний колообіг включає в свої численні цикли неорганічні речовини, безперервно й активно впливає на вигляд і стан біосфе-

ри. Від інтенсивності (швидкості) цього колообігу залежать кількість і різнорідність живих організмів на Землі і відповідно об'єм накопичуваної органічної продукції.

Вміст мінеральних елементів у рослинах пересічно приблизно такий, %: вуглець — 45, кисень — 42, водень — 6,5, азот — 1,5, мінеральні елементи (неорганогени) — 5. На частку елементів-органогенів (C, O, H, N) припадає близько 95 % валового вмісту сухих речовин і тільки близько 5 % — на частку мінеральних речовин (макро-, мікро- та ультрамікроелементів).

Важливим показником інтенсивності біологічного колообігу є швидкість обігу хімічних елементів. Її можна оцінити за швидкістю накопичення і розкладання відмерлої органічної речовини, що утворюється в результаті щорічного опаду рослин і загибелі тваринних організмів. Відношення маси мертвого рослинного опаду (лісової підстилки, степового войлоку та ін.) до маси щорічного опаду відбиває інтенсивність процесу деструкції і виражається відповідним індексом. Інтенсивність біологічного колообігу в будь-якій екосистемі тим менша, чим вищий цей індекс, що показує, у скільки разів маса нерозкладених решток більша за масу щорічного опаду. Вивільнені в результаті мінералізації речовини відразу ж засвоюються кореневою системою рослин і знову включаються до складу рослинності.

Виникнення на Землі живої матерії забезпечило безперервну циркуляцію в біосфері хімічних елементів, перехід їх із зовнішнього середовища в живі організми і навпаки. Така циркуляція хімічних елементів і дістала назву *біогеохімічного колообігу*, що є частиною біологічного колообігу і включає обмінні цикли хімічних елементів абіотичного походження, без яких не може існувати жива речовина (вуглець, кисень, водень, азот, фосфор, сірка та багато інших). Рамал виділив три основні типи біогеохімічних колообігів: води, газоподібних речовин із резервним фондом в атмосфері або гідросфері (океан), осадові цикли хімічних елементів із резервним фондом у земній корі.

У кожному колообігу слід розрізняти дві його частини: *резервний фонд* — велика маса речовин, що повільно рухаються і в основному не зв'язані з організмами; *обмінний фонд* — менший, але активніший, для якого характерний швидкий обмін між організмами та їх безпосереднім оточенням.

Завдяки наявності в атмосфері великого резервного фонду деякі колообіги, наприклад вуглецю, азоту чи кисню, здатні до досить швидкого саморегулювання за різного роду місцевих порушень. Так, надлишок вуглекислого газу CO_2, що накопичився в якомунебудь місці в зв'язку з інтенсивним окисненням або горінням, швидко розсіюється повітряними течіями; крім того, посилене утворення CO_2 компенсується збільшеним використанням його росли-

нами і перетворенням на карбонатні сполуки. Отже, завдяки саморегулюванню за типом негативного зворотного зв'язку колообіги газоподібних речовин у глобальному масштабі відносно досконалі. Проте саморегулювання має певні межі, тому різного роду порушення можуть бути загрозливими. Осадові цикли, в яких беруть участь такі елементи, як фосфор і залізо, зазвичай значно менш досконалі і легше порушуються внаслідок місцевих змін, оскільки основна маса цих речовин сконцентрована у відносно малоактивному і малорухомому резервному фонді в земній корі. Механізми, що забезпечують повернення речовин у колообіг, часто ґрунтуються переважно на біологічних процесах.

Організм людини потребує 40 різних елементів, проте в своїй складній діяльності він використовує багато інших елементів, природних і штучно створених речовин. У результаті діяльності людини рух багатьох речовин прискорюється настільки, що колообіги стають недосконалими, а процеси — ациклічними, так що сама людина дедалі більше потерпає від створених нею протиприродних ситуацій — в одних місцях виникає нестача фосфору чи заліза, в інших — їх надлишок. Наприклад, у місцях видобутку і переробки фосфоровмісних порід відходи виробництва створюють поблизу шахт і заводів великі місцеві забруднення; в інших випадках ми застосовуємо надмірно багато фосфорних добрив у сільському господарстві, що призводить до забруднення водойм, погіршення якості води. Свої зусилля щодо охорони природних ресурсів ми маємо спрямовувати на забезпечення повернення речовин у колообіг і повторне їх використання.

6.2. Ґрунт — сполучна ланка колообігів елементів

Ґрунтом називають пухкий поверхневий шар земної кори (літосфери), що є складним комплексом органічних і мінеральних сполук і характеризується родючістю. Ґрунт — продукт сумісного впливу клімату, рослинності, тварин і мікроорганізмів. У ньому безперервно відбуваються синтез і розкладання органічної речовини, колообіг елементів зольного й азотного живлення рослин, поглинання і детоксикація різних забруднювальних речовин. Ґрунтовий покрив Землі розглядають як компонент біосфери, що відіграє складну загальнопланетарну роль у накопиченні і перерозподілі енергії, в підтриманні колообігу хімічних елементів, життєво необхідних організмам. Перебуваючи у стані безупинного обміну речовиною й енергією з атмосферою, гідросферою, літосферою і біосферою, ґрунтовий покрив є незамінною умовою підтримання між усіма сферами рівноваги, яка склалася на Землі, — такої необхідної для існування і розвитку життя на нашій планеті в повній його різноманітності.

Ґрунт упорядковує всі потоки речовин у біосфері, є сполучною ланкою і регулювальним механізмом у процесах біологічної та геологічної циркуляції елементів, регулює склад атмосфери і гідросфери. У результаті постійного обміну між ґрунтом і атмосферою в повітряний басейн трансформуються різні гази, мікрогази. Наприклад, при розкладанні рослинних решток у середньому на 1 га ґрунту виробляється 84 кг вуглекислого газу за добу. 40 – 70 % цього газу виділяється із ґрунту і використовується в процесі фотосинтезу, ґрунт натомість поглинає атмосферний кисень.

Найважливішою глобальною функцією ґрунту є здатність до накопичення в поверхневій частині земної кори вивітрювання — в ґрунтових горизонтах — специфічної органічної речовини — гумусу і пов'язаної з ним енергії. Процеси біогенного накопичення, трансформації і перерозподілу енергії, що надходить на Землю від Сонця, відбуваються в ґрунті безперервно. Потенційна біогенна енергія скупчується переважно у вигляді коренів рослин, біомаси мікроорганізмів і гумусу. Ґрунт є регулятором живих організмів, виконує функції створення і збереження біологічної різноманітності. Як середовище існування багатьох організмів, він обмежує діяльність одних і сприяє активності інших.

Наприклад, чорноземні ґрунти характеризуються великою чисельністю мікробного заселення, мають високу родючість і більшу стійкість до несприятливих чинників середовища. Дерново-підзолисті, й особливо підзолисті ґрунти легкого гранулометричного складу різняться низькими родючістю і забезпеченістю ґрунтовими мікроорганізмами, поганими фізико-хімічними властивостями і малою стійкістю до різних токсикантів.

6.3. Колообіг вуглецю

Центральне місце в біосфері належить біохімічним циклам вуглецю, води, кисню, азоту і фосфору. Вони зазнали найбільшої трансформації при формуванні техносфери й агросфери, тому їх вивчення — важливе завдання агроекології. Колообіг вуглецю ґрунтується на значному (0,03 %) його вмісті в атмосферному повітрі (у вигляді вуглекислого газу CO_2 в атмосфері утримується близько 700 млрд т вуглецю). Цей цикл ініціюється фотосинтезом та диханням. На суходолі він починається із засвоєння вуглекислого газу рослинами в процесі фотосинтезу зі створенням органічної речовини і побічним виділенням кисню. Обидва процеси йдуть настільки інтенсивно, що на частку вуглецю припадає до 40 – 50 % загальної маси організмів рослин і тварин. З решток відмерлих рослинних і тваринних організмів утворюється гумус. Щорічно зелені рослини

(автотрофи) використовують до 300 млрд т вуглекислого газу з атмосфери, що збігається із сумарним надходженням цього газу в атмосферу від різних джерел (промисловість, енергетика, транспорт та ін.). Частина зв'язаного вуглецю виділяється під час дихання рослин і тварин у складі вуглекислого газу. Ґрунтові гриби залежно від швидкості росту продукують від 200 до 2000 см^3 CO_2 на 1 г сухої маси. Чимало вуглекислого газу виділяють бактерії, які в перерахунку на живу масу дихають у 200 разів інтенсивніше за людину. Цей газ є продуктом дихання численних живих організмів та коренів рослин.

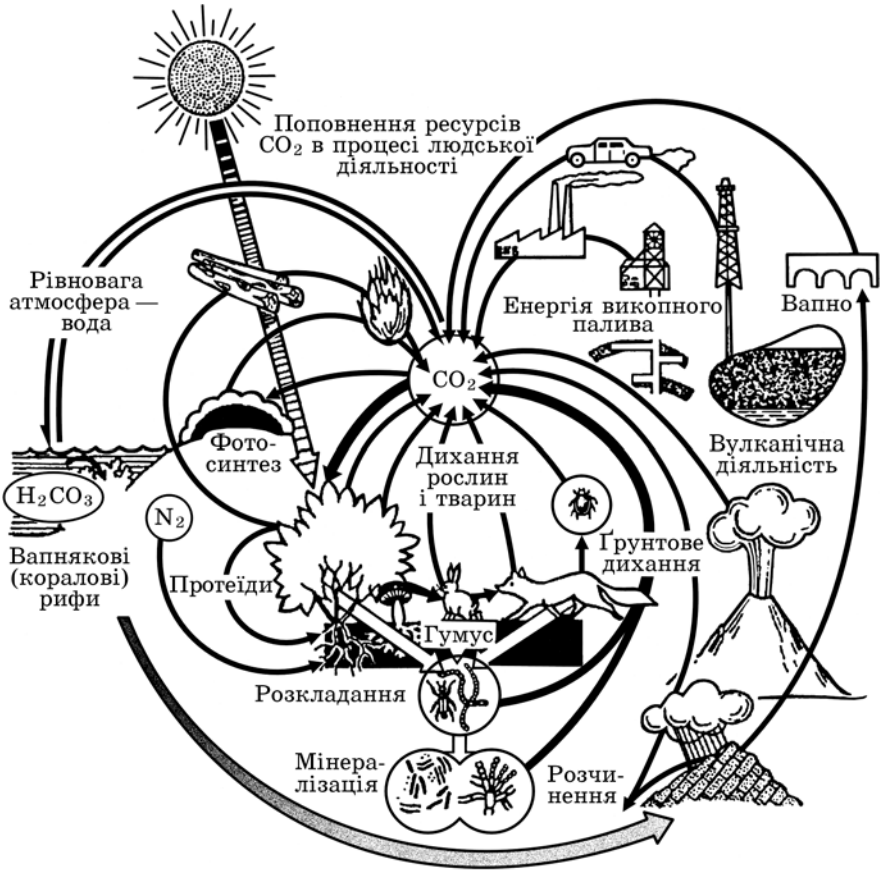


Рис. 6.1. Колообіг вуглецю в біосфері (за Дювиньо, Тангом)

У результаті розкладання органічних речовин чорноземів степу і лісостепу виділяється близько 15 т/га, сухого степу — 2,0 – 2,5, лісів помірного клімату — 7 – 8 т/га CO_2. Мікроорганізми розкладають відмерлі рештки рослин і тварин, внаслідок чого вуглець органічної речовини окиснюється до вуглекислого газу і потрапляє в атмосферу. За рік у процесі розкладання органічної речовини вивільняється 48 млрд т CO_2; надходить у ґрунт і консервується в багаторічних фітоценозах — 10 млрд т; відкладається в осадовій товщі літосфери — 1 млрд т; вивільняється внаслідок спалювання горючих копалин — 4 млрд т CO_2.

В умовах техносфери нині антропогенне надходження вуглекислого газу в атмосферу на 6 – 8 % перевищує природне. Це пов'язано в основному з вирубуванням лісів та заміною їх на менш продуктивні агроценози, а не тільки з промисловими викидами і збільшеними обсягами використання палива.

Колообіг вуглекислого газу здійснюється й у водному середовищі, але тут він складніший порівняно з континентальним, оскільки повернення цього елемента у формі CO_2 залежить від надходження кисню у верхні шари води як з атмосфери, так і з глибини водойми. Між суходолом і Світовим океаном постійно відбуваються процеси міграції вуглекислого газу, в яких переважає винесення його у формі карбонатних і органічних сполук із суходолу в океан. З океану в атмосферу повертається незначна кількість CO_2.

6.4. Колообіг кисню

Біохімічний цикл кисню — планетарний процес, що зв'язує атмосферу і гідросферу із земною корою. Його основою є утворення вільного кисню під час фотосинтезу в зелених рослинах, використання кисню для дихання усіх живих організмів, підтримання реакцій окиснення органічних решток і неорганічних речовин (спалювання пального), інших хімічних перетворень, внаслідок чого утворюються такі окиснені сполуки, як вуглекислий газ і вода, які залучаються в новий цикл фотосинтетичних перетворень.

У колообігу кисню помітно виражена активна геохімічна діяльність живої речовини, її першорядна роль у цьому процесі.

Об'ємна частка кисню в атмосферному повітрі — 20,93 %, що становить $1{,}2 \cdot 10^{15}$ т. У процесі фотосинтезу щорічно виділяється $1{,}55 \cdot 10^{9}$ т кисню, а витрачається — $2{,}16 \cdot 10^{10}$ т, тобто на порядок більше. У зв'язку з цим баланс кисню в атмосфері надзвичайно дефіцитний. Близько 72 % цієї кількості кисню виділяє рослинність суходолу і 28 % — фотосинтезуючі організми Світового океану. В розчиненому стані вільний кисень міститься в природних водах. За

даними А.П. Виноградова, у водах Світового океану знаходиться $(2,7…10,9)\cdot10^{12}$ т розчиненого кисню.

Частина кисню, зв'язаного в органічних речовинах, виводиться з річного колообігу при похованнях. Крім того, кисень використовується в процесах горіння, інших видах діяльності людини.

Компонентами повітря є азот, кисень, вуглекислий газ, інертні гази, аміак, водяна пара, а в анаеробних умовах — ще й метан, сірководень тощо. Ґрунтове й атмосферне повітря різниться за хімічним складом, містить різні кількості кисню і вуглекислого газу. Нижче наведено склад атмосферного і ґрунтового повітря за М.П. Ремезовим:

	Об'ємна частка, %		
	азоту	*кисню*	*вуглекислого газу*
Атмосферне повітря	78,0	21,0	0,03
Ґрунтове повітря	78,8	5,20	0,1 – 1,5

Це пояснюють перебігом у ґрунті біологічних процесів, а також процесів окиснення і відновлення. Під час розкладання мікроорганізмами органічної маси і дихання корені рослин інтенсивно поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ. Улітку з 1 $м^2$ поверхні ґрунту за добу виділяється від 3 до 10 $дм^3$ (або 6 – 20 г) CO_2. Вміст вуглекислого газу у ґрунті великою мірою залежить від його стану. Заболочені ґрунти зазвичай містять менше кисню і більше (до 6 %) вуглекислого газу. Вміст кисню і вуглекислого газу в ґрунтовому повітрі залежить також від аерації ґрунту (часті оранки, дихання, заміна оранки поверхневим обробітком), складу рослинності, коливання температури, тиску повітря, дії вітру, рівня залягання ґрунтових і підґрунтових вод, внесення добрив, особливо органічних, і певною мірою — від інтенсивності газообміну. Вміст вуглекислого газу в ґрунті упродовж року змінюється. Найбільше його в орному шарі влітку, коли інтенсивно відбуваються біохімічні процеси.

Склад і вміст повітря у ґрунті впливає на врожайність сільськогосподарських культур так само, як і вміст вологи та поживних речовин.

Між ґрунтовим і атмосферним повітрям постійно відбувається газообмін, внаслідок чого склад ґрунтового повітря і повітря надземного шару атмосфери певною мірою оновлюється. Газообмін у ґрунті впливає на більшість процесів, що відбуваються в ньому. Чим інтенсивніший обмін між ґрунтом і атмосферним повітрям, тим активніше йдуть біохімічні процеси. Кисень і вуглекислий газ сприяють вивітрюванню й окисненню різних мінералів, утворенню доступних для живлення рослин сполук. За нестачі повітря в ґрунті переважають відновні хімічні процеси, при яких рослини неспроможні ви-

користати навіть доступні поживні речовини. Без доступу свіжого повітря в ґрунті не розвиваються корисні мікроорганізми, розпочинається шкідливий процес денітрифікації. Кисень також потрібний для дихання кореневої системи рослин. За нестачі в ґрунтовому повітрі кисню процес дихання в кореневих системах відбувається за типом спиртового бродіння, а в ґрунті внаслідок перебігу анаеробних процесів накопичуються шкідливі органічні сполуки та гази (метан, сірководень тощо), які пригнічують рослини.

Склад ґрунтового повітря певною мірою впливає на ґрунтовий розчин. Якщо в ньому збільшується концентрація вуглекислого газу, то останній насичує і ґрунтовий розчин, внаслідок чого підвищується розчинність солей.

6.5. Фотосинтез

Фотосинтез — це процес утворення зеленими рослинами органічної речовини з CO_2 і H_2O за участю енергії сонячного світла. Як побічний продукт виділяється кисень, що є основним джерелом первинного синтезу органічних речовин і головним чинником біологічних колообігів у біосфері. Зелені рослини поглинають сонячну енергію, яка надходить у вигляді світла, і перетворюють її на енергію хімічних зв'язків органічних речовин. Сонячні промені мають довжини світлових хвиль від 300 до 2000 нм.

Довжина хвиль фотосинтетично активної радіації (ФАР), або фотосинтетично активних променів, — від 380 до 710 нм. Для фотосинтезу організми використовують видиму частину спектра, оскільки найбільше саме таких променів досягають нашої планети. Коротші промені (ультрафіолетові), які мають більшу енергію, здатні руйнувати структуру і порушувати функції складних біологічних молекул. Основний їх потік відбивається (екранується) киснем і озоном у високих шарах атмосфери. Інфрачервоні промені не досягають земної поверхні або поглинаються водяною парою і вуглекислим газом.

Загальне рівняння фотосинтезу записують так:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[\text{Хлоропласт}]{\text{Сонячна енергія}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2.$$

Його доцільно використовувати, коли треба відобразити, що утворюється одна молекула глюкози, але не слід забувати, що це сумарна реакція багатьох перетворень. Кращий варіант:

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow[\text{Хлоропласт}]{\text{Сонячна енергія}} [CH_2O] + O_2.$$

CH_2O — це не якась реальна речовина, а символ загальної структури вуглеводів.

Отже, від енергії сонця залежать процеси як утворення органічних речовин (вуглеводи, органічні кислоти, жирні кислоти, білки та ін.), так і виділення кисню.

Фотосинтез відбувається в зелених органах рослин, насамперед у листках. За особливостями будови вони найбільш пристосовані до цього. Вуглекислий газ, який засвоюється в процесі фотосинтезу, находить у листки крізь продихи. Листок має дорзивентральну будову, його верхню частину формує стовпчаста паренхіма, а нижню — губчаста. Стовпчаста паренхіма є переважно асиміляційною тканиною. До нижнього епідермісу, де знаходяться продихи, прилягає губчаста паренхіма з пухко розміщеними клітинами з міжклітинниками. Таке пристосування у рослин полегшує надходження CO_2 та виділення O_2 листковою пластинкою. Листкові пластинки пронизані провідними пучками, які забезпечують надходження води і мінеральних речовин (ксилема) та відплив продуктів асиміляції (флоема).

Стовпчасті клітини паренхіми щільно змикаються одна з одною, вони багаті на хлоропласти, в яких трансформується сонячна енергія. У вищих зелених рослин у фотосинтезі беруть участь пігменти хлорофіл та каротиноїди, у синьозелених і червоних водоростей — фікобіліни.

Фотосинтетичний потенціал. C_3 і C_4 типи фотосинтезу

Фотосинтез складається із світлової і темнової фаз. Світлові і темнові реакції розділені в часі: спочатку відбуваються світлові, після чого їх продукти АТФ (аденозинтрифосфорна кислота) і НАДФ·H_2 (НАДФ — нікотинамідаденіндинуклеотидфосфат) використовуються в світлонезалежних біохімічних реакціях перетворення CO_2 на вуглеводи. Для світлових реакцій необхідне світло, а для темнових воно не потрібне, але вони також відбуваються на світлі. Встановлено, що світлові реакції йдуть у мембранах хлоропластів, а темнові — в їх стромі. Роль світлових реакцій полягає в утворенні АТФ і НАДФ. У цих реакціях бере безпосередню участь хлорофіл, який відіграє роль оптичного і хімічного сенсибілізатора і, каталізуючи фотоліз води, забезпечує виділення кисню.

За світлової фази відбуваються фотохімічні реакції, за темнової — біохімічні. CO_2 відновлюється за рахунок енергії АТФ і відновлювальної сили НАДФ·H_2. Темнові реакції контролюють ферменти. Їх послідовність визначив М. Кальвін, який у 1961 р. за ці роботи був удостоєний Нобелівської премії.

Процес фіксування вуглецю, досліджений М. Кальвіном, називають *шляхом C_3-рослин*, або *циклом Кальвіна*. CO_2 вільно приєднується до п'ятичленного цукру (рибулозодифосфат), утворена сполука відразу ж розпадається на дві тріози (дві молекули фосфогліцеринової кислоти — ФГК), ФГК перетворюється на дифосфогліцеринову кислоту. На цей процес фосфорилування використовується енергія АТФ (АТФ → АДФ). Дифосфогліциринова кислота воднем НАДФ·H_2 відновлюється до фосфогліцеринового альдегіду (НАДФ·H_2 → НАДФ). У C_3-рослин процес фотосинтезу пов'язаний із тріозами, а в C_4-рослин початковими продуктами фотосинтезу виявились малат і аспартат. Згідно з дослідженнями Хетча і Слека, у C_4-рослин вуглець C_4-кислот швидко переходить в інші сполуки і C_4-кислоти не є кінцевими продуктами. C_4-цикл поділяють на дві стадії: карбоксилування, яка проходить у клітинах мезофілу, і декарбоксилування, яка відбувається в клітинах обгортки провідних пучків. Спільним для всіх C_4-рослин є те, що CO_2 на стадії карбоксилування фіксується за допомогою ФЕП-карбоксилази. C_4-шлях є шляхом перетворення C_4-дикарбонових кислот. C_4-рослини виявлені серед представників 16 родин, для них характерний C_4-шлях перетворення дикарбонових кислот.

C_3-рослини поширені на територіях помірного клімату, оптимальна денна температура для фіксування ними вуглекислого газу — від 15 до 25 °С. До C_3-рослин належать: пшениця, жито, овес, ячмінь, рис, цукрові буряки, тютюн, картопля, боби. Інші варіанти цього процесу — C_4-шлях, який називають метаболізмом органічних кислот за типом товстянкових. Рослини, які здійснюють C_4-фотосинтез (цикл Хетча — Слека), поширені в тропічному поясі і часто трапляються в посушливих місцевостях (цукрова тростина, кукурудза, різні види проса, сукуленти). Багато злісних бур'янів є C_4-рослинами — щириця звичайна, куряче просо, свинорій тощо.

У C_4-рослин навколо судинних пучків розміщений шар великих клітин обкладки, а навколо них — менш щільно невеликі клітини мезофілу. Разом клітини обкладки і мезофілу утворюють два концентричні шари. Ці клітини з'єднані великою кількістю плазмодесм. На противагу циклу Кальвіна у клітинах мезофілу C_4-рослин акцептором CO_2 є тривуглецева сполука — фосфоенолпіровиноградна кислота (фосфоенолпіруват — ФЕП). У зв'язку з цим першим продуктом асиміляції є щавлевооцтова кислота (оксалоацетат — ЩОК), яка містить чотири вуглецеві атоми. Звідси й назва циклу — C_4.

ФЕП-карбоксилаза має високу спорідненість до CO_2, тому фотосинтез може відбуватися при майже закритих продихах, що харак-

терно для рослин жаркого посушливого клімату. Щавлевооцтова кислота проникає у хлоропласти клітин мезофілу, де відновлюється до яблучної кислоти за рахунок НАДФ·H_2, що утворився у світлову фазу фотосинтезу. За наявності NH_4^+ щавлевооцтова кислота може перетворюватися на аспарагінову ($COOHNH_2CHCH_2COOH$).

Якщо в таких рослинах, як кукурудза, цукрова тростина, сорго в основному синтезується яблучна кислота, то у щириці, курячому просі та ін. — аспарагінова.

Утворенням яблучної чи аспарагінової кислоти закінчується стадія першого карбоксилування у клітинах мезофілу.

Наступна стадія декарбоксилування є дуже важливою: яблучна чи аспарагінова кислота (залежно від виду рослин) із хлоропластів клітин мезофілу проникає крізь плазмодесми у хлоропласти клітин обкладки судинного пучка. Тут яблучна кислота розкладається на піровиноградну і CO_2, утворений CO_2 знову вступає в реакцію карбоксилування, але вже в циклі Кальвіна. Аспарагінова кислота у хлоропластах клітин обкладки спочатку дезамінується до щавлевокислої, яка далі також декарбоксилується з утворенням піровиноградної кислоти і CO_2.

Клітини обкладки судинних пучків містять ферменти циклу Кальвіна, тому з CO_2 та рибулозодифосфату за їх участю утворюється 3-фосфогліцеринова кислота, яка в реакціях циклу Кальвіна перетворюється на фруктозо-6-фосфат.

Піровиноградна кислота з клітин обкладки по плазмодесмах проникає в хлоропласти клітин мезофілу, де взаємодіє з АТФ з утворенням ФЕП. У свою чергу, ФЕП карбоксилується з утворенням ЩОК і цикл замикається.

Отже, просторовий розподіл C_4-шляху і циклу Кальвіна у листках C_3-рослин ґрунтується на анатомічній і функціональній відмінності хлоропластів клітин мезофілу і клітин обкладки судинних пучків.

Для C_4-рослин характерні високі швидкості фотосинтезу (40 – 80 мг CO_2 фіксує кожен 1 $дм^2$ поверхні листка за 1 год). Ці рослини швидше ростуть, мають малі транспіраційні коефіцієнти (250 – 350).

C_4-рослини більш урожайні в посушливих умовах тропічної зони, вони активніше використовують високу інтенсивність освітлення, мають невеликий транспіраційний коефіцієнт, краще переносять посуху. Однак у прохолодних і більш вологих районах помірної зони з ними успішно конкурують C_3-рослини, бо їм не потрібна додаткова енергія для дворазової фіксації CO_2. Це дає їм деяку перевагу в умовах меншого освітлення.

Фотосинтез у бактерій дещо різниться від фотосинтезу у вищих рослин. У бактерій цей процес відбувається в аеробних умовах за типом фоторедукції, тобто CO_2 відновлюється з поглинанням променистої енергії, але без виділення кисню. Деякі бактерії як джерело енергії для синтезу використовують екзотермічні процеси окиснення певних речовин, наприклад сірководню, водню, аміаку. Синтетичну діяльність таких бактерій, побудовану на перетворенні хімічної енергії, називають *хемосинтезом*. Як і фотосинтез, хемосинтез відбувається в дві стадії. В першу (аналогічно темновій фазі фотосинтезу) із CO_2 утворюються органічні речовини, у другу (аналогічно світловій фазі фотосинтезу) генеруються відновні агенти та енергія для перетворення речовин. Прикладом хемоситнезу є діяльність безбарвних сіркобактерій, в яких CO_2 відновлюється виключно за рахунок енергії окиснення.

Друга важлива група хемосинтезуючих організмів представлена нітрифікуючими бактеріями, які живуть у ґрунті і перетворюють аміак на солі азотної кислоти. Нітрифікуючі бактерії мають дуже велике значення у колообігу азотистих речовин у природі. Вся селітра в природних умовах виробляється ними.

Керування продукційним процесом

Продуктивність фотосинтезу залежить від чинників навколишнього середовища: інтенсивності та якісного складу світла, концентрації CO_2 й кисню, температури, водного режиму тканин листків і мінерального живлення рослин. Світло і концентрація CO_2 можуть обмежувати процес фотосинтезу.

Умови освітлення включають інтенсивність і спектральний склад світла, які залежать від положення сонця над горизонтом, тобто від товщини шару атмосфери, а також від вмісту в ній водяної пари і пилу. З наближенням сонця до горизонту шлях променя крізь атмосферу збільшується (коли сонце знаходиться за 0,5° від горизонту, він у 35 разів довший, ніж коли воно у зеніті). Зі зростанням шляху променя різко зменшується (в середньому у 3 – 4 рази) кількість сонячної радіації, що досягає поверхні землі.

Різний спектральний склад має пряме і розсіяне світло. Пряме світло відносно багатше на червоні промені, а в розсіяному переважають фіолетові. Світлолюбні рослини інтенсивно використовують червоні промені, а тіневитривалі — синьо-фіолетові.

Для фотосинтезу важлива не тільки інтенсивність, а й спектральний склад світла.

Як установив ще К.А. Тімірязєв, найефективнішими є червоні та сині промені, які поглинає хлорофіл.

Основним субстратом фотосинтезу є вуглекислий газ, оскільки вуглець засвоюється організмами тільки у вигляді CO_2 та його гідрату (H_2CO_3).

За концентрації CO_2 в атмосфері 0,03 % інтенсивність фотосинтезу становить близько 50 % максимальної, яка досягається за 0,3 – 1,0 % CO_2. Цей факт засвідчує, що для підвищення врожайності рослин у закритому ґрунті їх доцільно підживлювати вуглекислим газом.

Вуглекислий газ важчий за повітря, тому найбільша його кількість зосереджується у нижньому шарі атмосфери та в ґрунті. У близьких до ґрунту шарах повітря концентрація CO_2 підвищена за рахунок дихання ґрунтових бактерій. Збільшенню вмісту CO_2 в повітрі сприяють органічні добрива. В результаті збагачення атмосфери CO_2 зростає інтенсивність фотосинтезу і як наслідок — загальна і господарська продуктивність рослин.

Первинні фотофізичні процеси фотосинтезу мало залежать від температури, але від неї значною мірою залежить комплекс реакцій, пов'язаних із відновленням вуглекислого газу. З підвищенням температури на 10 °С швидкість цих реакцій зростає в 2 – 3 рази.

Фотосинтез зазвичай відбувається в аеробних умовах за вмісту кисню в повітрі близько 21 %. Така концентрація кисню дещо більша за оптимальну. Зниження концентрації кисню на 3 % не позначається на інтенсивності фотосинтезу, а в рослин з активним фотодиханням (боби та інші C_3-рослини) навіть підвищує її. Дуже низький вміст кисню іноді може гальмувати фотосинтез, так само як і висока інтенсивність світла, оскільки порушується відновлення вуглецю.

Процес фотосинтезу тісно пов'язаний з кореневим живленням рослин. Для нормального функціонування фотосинтетичного апарату рослини мають бути забезпечені комплексом макроелементів (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, сірка) і мікроелементів (манган, бор, молібден, цинк, мідь, залізо, кобальт, йод та ін.). Інтенсивність фотосинтезу може змінюватись упродовж доби і пори року. Протягом доби змінюються освітленість, температура повітря і листків, відносна вологість повітря, насиченість тканин рослин водою, а разом з ними — й інтенсивність фотосинтезу. Зі сходом сонця вона зростає і стає максимальною о 9 – 12-й годині. Сезоні зміни інтенсивності фотосинтезу залежать від тривалості вегетаційного періоду, адаптивних властивостей рослин та характеру метеорологічних умов. Інтенсивніше фотосинтез відбувається на ранніх етапах вегетації.

Інтенсивність фотосинтезу відповідає кількості вуглекислого газу, що засвоюється одиницею листкової поверхні за одиницю часу.

Вона коливається від 5 до 25 мг CO_2/(м^2·год). Добову продуктивність фотосинтезу визначають за співвідношенням добового приросту маси рослини до площі її листків. Здебільшого вона становить 5 – 12 г сухої речовини на 1 м^2 за добу.

Формування господарського врожаю, наприклад зерна злаків, особливо ячменю, зумовлюється не тільки фотосинтезом листків, а й утворенням продуктів асиміляції в стеблах з піхвами листка і колосі. Продуктивність агрофітоценозів великою мірою залежить від архітектоніки рослин (високо- чи низькорослість, розміщення листків по висоті, їх форма, кут нахилу).

Для загальної продуктивності рослин велике значення має співвідношення між їхніми продукуючими і споживаючими частинами. Чим більші відносні розміри листкової поверхні і менше стебел та коренів, а також квіток і плодів, тим більше загальне накопичення органічної речовини. Весь комплекс агротехніки сільськогосподарських культур має забезпечувати швидке наростання площі листків, але так, щоб вони не спричинювали самозатінення рослин, яке призводить до зниження інтенсивності фотосинтезу.

Для якомога ефективнішого використання променистої енергії рядки посівів рослин слід розміщувати зі сходу на захід або з північного сходу на північний захід, створювати оптимальну структуру посіву. Важливу роль у підвищенні ефективності фотосинтезу рослин відіграє селекція.

6.6. Роль детритно-гумусового та біотичного комплексів ґрунту в колообігах вуглецю і кисню

Відмерлі рослинні і тваринні організми неминуче зазнають розкладання, кінцевою стадією якого є повна мінералізація.

Органічні рештки мінералізуються не відразу, а піддаються низці тривалих і складних перетворень. Ось чому в усякому ґрунті у будь-який момент можна виявити органічні сполуки на найрізноманітніших стадіях розкладання.

Одночасно з мінералізацією органічних речовин у ґрунті відбувається й процес гуміфікації — утворення гумусу або перегною. Ґрунтовий гумус на відміну від інших продуктів розкладання і перетворення органічних речовин характеризується значною стійкістю до розкладання і подальших змін, внаслідок чого він здатний накопичуватись у ґрунті.

Під *гумусом* розуміють високомолекулярну органічну речовину темного кольору, яка утворюється внаслідок розкладання рослинних і тваринних решток та продуктів життєдіяльності організмів. До його складу входять гумінові і фульвокислоти, гуміни, ароматичні сполуки, ліпіди, амінокислоти та інші органічні речовини.

Детрит є компонентом органічної частини ґрунту, він представлений напіврозкладеними органічними рештками. Має важливе значення в колообігу органічної речовини, є невід'ємною частиною загальної маси гумусу ґрунту.

Під органічною речовиною ґрунту слід розуміти дуже складний комплекс різних сполук, який містить: 1) нерозкладені і слабко розкладені рослинні і тваринні рештки; 2) білок тіл живих і мертвих мікроорганізмів; 3) ґрунтовий перегній (гумус); 4) різні проміжні продукти розкладання органічних решток; 5) компоненти рослин, які важко розкладаються, наприклад дубильні речовини (смоли, лігніт та ін.); 6) речовини, що утворилися внаслідок хімічної взаємодії між продуктами розкладання органічної речовини і мінеральними сполуками ґрунту. Звідси стає зрозумілим, що гумус як певна категорія стійких органічних сполук є лише частиною органічної речовини ґрунту, хоча на нього здебільшого припадає найбільша кількість органічних сполук, які містяться в ґрунті. Так, частка гумусу в дерново-підзолистих ґрунтах становить 45 – 52 %, в лучно-болотних — 81 – 82, у чорноземах 71 – 91 % загальної маси органічної речовини, тому він є найважливішим компонентом ґрунту.

До складу гумусових речовин ґрунту входять три групи органічних сполук: гумінова й ульмінова кислоти, кренова й апокренова, або фульвокислоти, та ґрунтові гуміни з незначною кількістю воску, смол, бітуму, інших речовин.

Найпоширеніші в ґрунті гумінові і фульвокислоти. Гумінові кислоти — це високомолекулярні азотовмісні сполуки циклічної будови. Залежно від типу ґрунту вони містять 52 – 62 % вуглецю, 2,8 – 5,8 водню, 31 – 39 кисню і 2,6 – 5,1 % азоту, а також зольні елементи (алюміній, залізо, фосфор та ін.).

Фульвокислоти різняться від гумінових меншим вмістом вуглецю і підвищеним вмістом води, вони також більш окиснені. До їх складу входить: 44 – 50 % вуглецю, 4,6 – 6,0 водню, 42 – 48 кисню та 2,5 – 5,5 % азоту.

У пухких, добре провітрюваних ґрунтах завжди переважають аеробні процеси, в ущільнених, важких або заболочених — анаеробні. Органічні речовини залежно від умов середовища розкладаються по-різному: в аеробних умовах цей процес іде швидко, в анаеробних — повільно. Різняться й кінцеві продукти розкладання. Так, за аеробного процесу завжди утворюються повністю окиснені продукти, наприклад вуглекислий газ, вода, азотна, фосфорна, сірчана та інші кислоти, які реагують з основами й утворюють різні солі, що йдуть на живлення рослин. За анаеробного ж розкладання (без доступу повітря) утворюються різні неокиснені сполуки — CH_4, H_2S, NH_3, PH_3, FeO та інші, більшість з яких є отруйними для коренів культурних рослин.

Однак слід підкреслити, що жоден із цих процесів окремо сам по собі неспроможний створити у ґрунті сприятливі умови, необхідні для доброго росту і розвитку рослин. Так, аеробний процес хоча й постачає розчинні в ґрунті форми азоту і зольних сполук, придатні для живлення культурних рослин, але відбувається дуже енергійно. Органічна речовина при цьому швидко згоряє, й елементи, що містяться в ній, переходять у форму окиснених мінеральних солей і вилужуються з гумусового шару ґрунту в нижчі шари.

Анаеробний процес зовсім непридатний для мобілізації азоту і зольних елементів органічної речовини, оскільки не тільки сприяє збереженню її в ґрунті, а й може спричинювати відновлення деяких мінеральних сполук і переведення їх у незасвоювані рослинами форми.

Сприятливі для рослин умови створюються в ґрунті лише в разі одночасного розвитку і поєднання аеробного й анаеробного процесів. Тому постійно слід дбати про структуру ґрунту, достатню його розпушеність, забезпеченість органічними речовинами, киснем, що досягається диференційованим обробітком ґрунту, внесенням добрив, проведенням меліоративних робіт тощо.

6.7. Колообіг азоту

Азот входить до складу повітря. У протоплазмі клітин живих організмів, основою якої є білок, концентрується до 16 – 18 % азоту, в рослинах залежно від їх виду вміст азоту коливається від 1 до 6 %. Він є компонентом простих і складних білків, нуклеїнових кислот, зокрема рибонуклеїнової (РНК) і дезоксирибонуклеїнової (ДНК), які відіграють важливу роль в обміні речовин і передачі спадкових ознак. Азот входить до складу молекули хлорофілу, який виконує найважливішу функцію в процесі фотосинтезу.

Деякі бактерії-редуценти здатні переводити азот протоплазми з органічної форми в неорганічну, а в кінцевому результаті — в нітратну форму, найбільш придатну для використання зеленими рослинами.

Атмосферне повітря на 78 % складається з азоту, сумарний вміст його в атмосфері досягає $3{,}8 \cdot 10^{15}$ т, а у водах Світового океану — $2{,}0 \cdot 10^{13}$ т.

Азот постійно надходить в атмосферу внаслідок життєдіяльності денітрифікуючих бактерій і знову включається в колообіг у результаті діяльності азотофіксуючих бактерій, синьозелених водоростей, вільноіснуючих бактерій, хемо-, фотосинтезуючих та гетеротрофних мікроорганізмів; утворюються сполуки азоту під час атмосферних електричних розрядів (блискавки). Щорічно організми-азотфіксато-

ри суходолу акумулюють $4{,}4 \cdot 10^9$ т азоту, у водному середовищі біологічна фіксація цього елемента становить $1{,}0 \cdot 10^9$ т. Для підтримання колообігу необхідна енергія. Ступінчастий процес розкладання білка до нітратів сам є джерелом енергії для організмів, які здійснюють його, а зворотний процес потребує інших джерел енергії, таких як органічна речовина або сонячне світло. Кількість доступного азоту в ґрунті залежить від інтенсивності процесу мінералізації органічної речовини, який відбувається за такою спрощеною схемою:

Білки, гумінові речовини, амінокислоти, аміди → Аміак → Нітрити → Нітрати → Молекулярний азот

Процес амонізації дуже поширений у природі. Різкий запах аміаку на скотарнях, біля гноєзвалищ є результатом бактеріального розкладання азотовмісних речовин.

Стикаючись у ґрунті з різними кислотами, аміак вступає з ними в реакцію й утворює амонійні солі:

$$2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4.$$

Азот у вигляді амонійних сполук цілком доступний для живлення рослин, тому значення процесу амоніфікації у формуванні поживного режиму ґрунтів незаперечне. Слід зазначити, що цей процес здійснюється як аеробними, так і анаеробними мікроорганізмами, у зв'язку з чим амонійний азот може утворюватись у ґрунтах добре аерованих і ущільнених, заболочених, з утрудненим газообміном.

Процес нітрифікації, тобто перетворення аміаку на солі азотної кислоти, відбувається під впливом бактерій двох родів. Одні з них (Nitrosomonas) окиснюють аміак до нітритів за схемою

$$2NH_3 + 3O_2 = 2HNO_2 + 2H_2O,$$

інші (Nitrobacter) — продовжують реакцію окиснення далі і перетворюють нітрити на нітрати:

$$2HNO_2 + O_2 = 2HNO_3.$$

Азотна кислота, зіткнувшись у ґрунті з основами, відразу ж вступає з ними в реакцію з утворенням нітратів: $NaNO_3$, KNO_3, $Ca(NO_3)_2$. Солі азотної кислоти є найбільш придатною формою азотного живлення рослин, тому процес нітрифікації дуже важливий у колообігу азоту.

Раціональний обробіток ґрунту, травосіяння, внесення добрив — найважливіші заходи для створення оптимальних для процесу нітрифікації умов. На хід нітрифікації значною мірою впливають аерація ґрунту, забезпеченість вологою, реакція середовища тощо.

Поряд із процесом окиснення (нітрифікація) в ґрунті можуть відбуватися процеси денітрифікації — відновлення особливими бактеріями солей азотної кислоти з утворенням простіших сполук: нітритів, аміаку, вільного азоту. Найенергійнішим денітрифікатором є бактерія Bac. denitriticaus.

Денітрифікуючі бактерії хоча й здатні розвиватися в аеробних умовах, проте інтенсивніше функціонують і розмножуються за нестачі кисню чи навіть за його відсутності.

Позбавлені вільного кисню або за обмеженої його кількості, ці бактерії віднімають кисень від нітратів та нітритів, окиснюють ним безазотисті органічні речовини та отримують внаслідок перебігу цього процесу необхідну їм теплову енергію. Частина азоту, що виділяється, безповоротно звітрюється в атмосферу, інша частина йде на побудову плазми бактерій-денітрифікаторів. Процес денітрифікації схематично можна подати рівнянням

$$5C + 4KNO_3 = 2K_2CO_3 + 3CO_2 + 2N_2.$$

Цей процес здебільшого шкідливий для землеробства.

Раціональний обробіток окультурених ґрунтів, осушення надмірно зволожених ґрунтів — основні заходи, що пригнічують процес денітрифікації і запобігають його появі.

З величезного запасу азоту в атмосфері й осадовій оболонці літосфери в колообігу бере участь лише фіксований азот, який засвоюється живими організмами суходолу й океану.

В обмінний фонд цього елемента входять: азот річного продукування біомаси, азот біологічної фіксації бактеріями та іншими організмами, ювенільний (вулканогенний) азот, атмосферний (фіксований під час гроз) і техногенний азот. Процес амонізації спричинюється життєдіяльністю різних мікроорганізмів. Одні з них здатні глибоко розкладати білкові сполуки з безпосереднім утворенням NH_3, інші доводять цей процес лише до стадії яких-небудь проміжних продуктів (наприклад, сечовина $(NH_2)_2CO_2$, з якої під впливом інших видів мікроорганізмів утворюється кінцевий продукт $(NH_2)_2CO_2 + 2H_2O = (NH_4)_2CO_3$.

Карбонат амонію, що виділився, — нестійка речовина і розкладається на CO_2, H_2O та NH_3:

$$(NH_4)_2CO_3 = 2NH_3 + H_2O + CO_2.$$

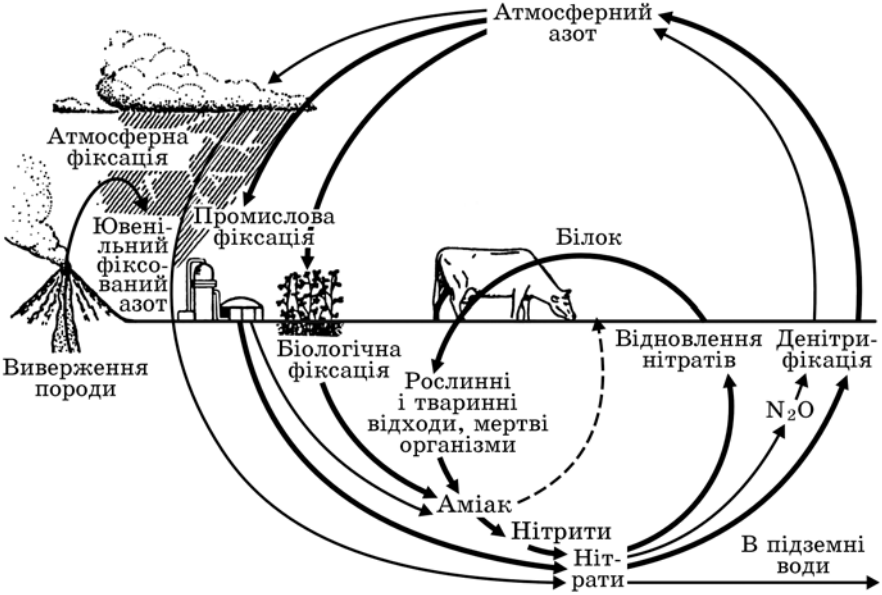


Рис. 6.2. Колообіг азоту в біосфері

Джерелом азоту є його вміст у зольних елементах рослинності різних типів. Найбільша кількість азоту в біомасі лісової рослинності. Мінеральні сполуки азоту надходять у рослини, під дією специфічних ферментів зазнають складних перетворень, першим етапом яких є відновлення нітратного (NO_3^-) і нітритного (NO_2^-) азоту до аміаку (NH_3). Проте накопичення аміаку в надмірній кількості шкідливе для рослин і може призвести до отруєння. Щоб захиститися від такої небезпеки, рослини виробили пристосувальні реакції. Надлишок аміаку переводиться в нешкідливі для них сполуки — аспарагін і глутамін, які під впливом ферментів зв'язуються органічними кислотами. В результаті створюється великий набір амінокислот, які використовуються для подальшого синтезу білка.

6.8. Баланс азоту в ґрунті

Антропогенні зміни колообігу азоту

У результаті мінералізації органічної речовини створюється азотний фонд ґрунту. Він складається з таких компонентів: азот, що

входить до складу мінеральних солей у вигляді іонів NH_4^+, NO_3^-, NO_2^-, доступний для рослин і характеризує забезпеченість ґрунту азотом у період визначення його вмісту; азот, що легко гідролізується, — найближчий резерв для поповнення запасів його мінеральних форм — азот амідів, амінокислот і мінеральні форми NO_3^-, NH_4^+, що характеризують забезпеченість ґрунтів азотом на вегетаційний період; азот, що важко гідролізується, — азот гумінів, амінів, частина необмінного амонію, що є подальшим резервом поповнення запасів ґрунту мінеральними його формами; азот гумінів, меланінів, бітумів, необмінного амонію, що не піддається гідролізу. Він майже не бере участі в азотному обміні між ґрунтом і рослинами.

Вміст у ґрунті мінеральних форм нітратів і аміаку, які безпосередньо можуть споживати рослини, залежить від цілої низки умов: повітряного, водного і теплового режимів, кислотності, кількості гумусу, які значно різняться для ґрунтів різного ступеня окультурення.

Наприклад, для дерново-підзолистих суглинкових ґрунтів добрим показником вмісту мінерального азоту є його кількість 100 – 120 мг/кг, що без додаткового внесення добрив може забезпечити урожай зерна 22 – 25 ц/га, картоплі 160 – 170 ц/га.

Створення позитивного, або бездефіцитного, балансу азоту та інших поживних речовин у сільськогосподарських підприємствах України є одним з основних завдань, вирішення якого значно підвищить стійкість і надійність землеробства.

За даними Інституту аграрної економіки УААН (1993), повернення азоту з добривами і за рахунок біологічної фіксації становило 83,9 %. У межах окремих ґрунтово-кліматичних зон баланс азоту складався по-різному. В поліській зоні, на перший погляд, він був сприятливим. Винесені з урожаєм кількості азоту поповнювались за рахунок добрив і природних джерел на 102 – 107 %. Проте це благополуччя було уявним.

Невисоким урожаям культур на поліських ґрунтах низької природної родючості відповідає таке саме винесення поживних речовин. Згідно з результатами багаторічних досліджень, для підвищення родючості ґрунтів Полісся за середніх урожаїв зерна 20 – 25 ц/га, картоплі — 150 – 180, льону — 8 – 10 ц/га повернення азоту з добривами має становити понад 120 – 150 %.

Баланс азоту в Лісостепу і Степу характеризується дефіцитом (14 – 18 кг/га).

Загалом в Україні винесення поживних речовин з урожаєм зернових у 1980-ті роки поповнювалось за рахунок добрив: за азотом — на 60 %, за фосфором — на 75, за калієм — на 45 %. Дефіцит поживних

речовин, безумовно, стримував ріст урожаїв зернових культур. Нині дефіцит основних елементів живлення у ґрунті значно зріс.

У приходних статтях балансу азоту крім надходження його з органічними і мінеральними добривами істотне значення мають природні джерела: біологічна фіксація бобовими культурами, несимбіотична фіксація вільноіснуючими мікроорганізмами, надходження азоту з атмосферними опадами.

При визначенні місця внесення азотних добрив дуже важливо враховувати вміст у ґрунті гумусу, його фізико-хімічні властивості та мікробіологічний режим.

Майже всі сільськогосподарські культури добре відкликаються на азотні добрива на ґрунтах легкого гранулометричного складу, бідних на органічну речовину, в яких слабко розвинені процеси нітрифікації.

Витратні статті балансу азоту крім кількості засвоюваних рослинами поживних речовин, які виносяться за межі малого біологічного колообігу (табл. 6.1), включають втрати внаслідок вимивання газоподібних форм азоту з добрив і ґрунту, в процесі денітрифікації. За даними Е.Г. Дегодюка, сумарні втрати азоту (газувата форма та інфільтрація) у сівозміні на зв'язано-піщаних ґрунтах можуть становити 39 – 43 %.

Таблиця. 6.1. **Винесення елементів мінерального живлення рослин із ґрунту основною і побічною продукцією,** кг/ц

Культура	Елемент живлення		
	Азот	Фосфор	Калій
Озима пшениця	3,5 – 3,7	1,2 – 1,3	2,0 – 2,3
Озиме жито	2,8 – 3,0	1,1 – 1,4	2,3 – 2,5
Ярий ячмінь	2,3 – 2,5	1,0 – 1,1	1,8 – 2,3
Овес	2,8 – 3,0	1,0 – 1,2	2,7 – 3,1
Просо	2,8 – 3,0	1,2 – 1,4	2,8 – 3,3
Кукурудза	2,8 – 3,0	0,8 – 1,1	2,9 – 3,2
Гречка	3,0 – 3,4	1,5 – 1,7	4,3 – 5,5
Горох	6,0 – 6,4	1,5 – 1,8	2,2 – 2,7
Люпин	6,0 – 6,5	1,6 – 1,9	3,5 – 4,7
Соя	6,4 – 7,3	1,2 – 1,8	1,9 – 2,3
Картопля	0,6 – 0,7	0,3 – 0,4	1,3 – 1,7
Цукрові буряки	0,6 – 0,8	0,2 – 0,4	0,8 – 0,9
Соняшник	6,0 – 7,0	2,5 – 2,8	17,2 – 18,6
Льон-довгунець (волокно)	1,3 – 1,4	0,6 – 0,8	1,7 – 2,0

Отже, під час складання балансу поживних речовин, у тім числі й азоту, треба враховувати:

- надходження азоту, фосфору і калію з добривами, кореневими і пожнивними рештками;

- біологічну фіксацію азоту, яка може становити від 45 до 400 кг/га;
- надходження з опадами (4 – 10 кг/га);
- фіксацію вільноіснуючими мікроорганізмами ґрунту (5 – 15 кг/га);
- несимбіотичний шлях фіксації азоту синьозеленими водоростями.

Контролювати стан родючості ґрунтів на кожному полі громадського чи індивідуального господарства можна за допомогою розрахунків оптимального вмісту елементів живлення в ґрунті.

Витратна стаття: винесення з урожаєм, вимивання з ґрунту інфільтраційними водами, втрати газуватого азоту.

Стаття повернення: внесення органічних і мінеральних добрив, біологічна фіксація азоту, надходження з опадами.

Як правило, усі культури, до складу яких входить азот, з добрив засвоюють його менш як 20 – 30 %, а з ґрунту — до 70 %, тобто переважна частина врожаю формується за рахунок родючості ґрунту. Тому створення в ґрунтах оптимального вмісту основних поживних речовин і гумусу поряд з розробкою прийомів підвищення ефективності застосування добрив є першочерговим завданням.

Баланс гумусу в ґрунті: складові, методика оцінювання. Оптимізація балансу гумусу

У теорії і практиці землеробства питання формування родючості ґрунту розглядають у нерозривному зв'язку з кількістю і якістю гумусу в ньому. Роль гумусу багатогранна, але, за визначенням В.А. Ковди, найважливішим є те, що він акумулює сонячну енергію, яку щорічно трансформують автотрофні організми, і цим нагадує нафту, кам'яне вугілля, торф. Однак на відміну від горючих корисних копалин, гумус слугує постійним джерелом енергії для життєдіяльності ґрунтових мікроорганізмів і рослинності, тобто визначає інтенсивність біохімічних процесів у ґрунті. За даними М.М. Кононової, в гумусі сконцентровано 95 – 98 % ґрунтового азоту, 80 — сірки, до 60 % — фосфору, значна кількість калію, кальцію, магнію та інших елементів живлення рослин.

У процесі синтезу-розпаду вони вивільняються і стають доступними рослинам. Наявність великої кількості функціональних груп у макромолекулах гумусу забезпечує високу ємність його катіонного обміну. У зв'язку з цим гумус характеризується значними водоутримувальною здатністю і буферністю, що особливо важливо для ґрунтів легкого гранулометричного складу.

Колоїдна природа гумусу, і насамперед його гумінової складової, великою мірою впливає на фізичні властивості ґрунту, посилює здатність до агрегатування механічної частини і тим самим, разом з кальцієм, створює водостійку структуру верхніх горизонтів, визначає їх щільність, водно-повітряний режим.

Важлива роль гумусу і в створенні забарвлення верхнього горизонту ґрунту, від якого залежать не тільки температурний режим, теплоємність і теплопровідність, а й певною мірою великі складові клімату на досить значній території.

Результати тривалих досліджень підтверджують наявність тісного кореляційного зв'язку між вмістом у ґрунті гумусу й урожайністю сільськогосподарських культур.

Вихідним матеріалом для утворення гумусу в орних землях, як уже зазначалося, є кореневі і післязбиральні рештки, мікроорганізми й органічні добрива.

Співвідношення між кількістю акумульованого гумусу та його мінералізацією в певний період часу характеризує гумусовий режим ґрунту і є мірою інтенсивності накопичення або витрат органічної речовини. Основні запаси гумусу сконцентровані в орному (гумусно-акумулятивному) шарі залежно від провінції і ступеня окиснення: в дерново-підзолистих ґрунтах, у піщаних і глинисто-піщаних їх різновидах вміст гумусу становить 25 – 32 т/га, у супіщаних — 30 – 50 т/га, що в 3 – 4 рази менше, ніж у чорноземах типових потужних малогумусних і в 5 – 6 разів менше, ніж у чорноземах середньогумусних.

Введення ґрунтів у культуру землеробства, яке спричинило заміну рослинності і щорічне відчуження великої частини її біомаси, різко змінило відсоток гуміфікації і в більшості випадків призвело до зменшення запасів гумусу. Навіть такі багаті і буферні ґрунти, як чорноземи типові потужні, під впливом розорювання і сільськогосподарського використання істотно збіднились. У багатьох регіонах нашої країни вміст гумусу в ґрунті зменшився в середньому на 0,2 – 1,5 %. Причини цього можуть бути різними, але основні з них — це недотримання системи застосування добрив, порушення структури посівних площ, прийнятої для регіону (велика насиченість просапними культурами, зменшення площ посіву багаторічних бобових трав), та агротехніки вирощування сільськогосподарських культур у сівозмінах, особливо на схилах. За дотримання науково обґрунтованої системи землеробства з урахуванням її зональних особливостей запаси гумусу в ґрунті можна стабілізувати, а згодом підвищувати.

Методику розрахунку балансу гумусу в сівозміні запропонував А.М. Ликов. В її основу покладено науково обґрунтовані статті приходу і витрат органічного вуглецю в орному шарі ґрунту, які коротко схарактеризовано нижче.

Статті поповнення запасів гумусу: внесення усіх видів органічних добрив (гною, торфогнойових компостів, сапропелів, сидератів, соломи, кореневих і пожнивних решток), з насінням і посадковим

матеріалом, зв'язування атмосферного вуглекислого газу синьозеленими водоростями.

Статті витрат: мінералізація органічної речовини та вимивання її з кореневмісного шару вертикальними і поверхневими стоками.

Вважають, що надходження органічної речовини з насінням і продуктами життєдіяльності ґрунтових водоростей дорівнює її вимиванню, тому для спрощення розрахунків ці статті балансу гумусу до уваги не беруть.

Під час розрахунків балансу гумусу насамперед враховують винесення азоту з урожаєм, у цьому разі співвідношення C : N у гумусових речовинах ґрунту в середньому може дорівнювати 10 : 1. При цьому враховують, що урожай формується за рахунок азоту, який утворюється в ґрунті внаслідок мінералізації гумусу, та азоту, який надходить разом із добривами. У випадку, коли кількість азоту, що надходить із добривами, дорівнює винесенню його запланованим урожаєм або більша, умовно можна вважати, що у формуванні врожаю половина винесеного рослинами азоту припадає на ґрунтовий. Зауважимо, що в цьому разі слід враховувати поправковий коефіцієнт ефективності використання азоту гумусу, який залежить від характеру культур і гранулометричного складу ґрунтів. Для суглинкових ґрунтів важкого гранулометричного складу поправковий коефіцієнт дорівнює 0,8, середньосуглинкових — 1,0, легкосуглинкових — 1,2, супіщаних — 1,4, піщаних — 1,8, для багаторічних трав — 1,2, просапних — 1,6. Рослинні рештки забезпечують до 50 % азоту. З ростом урожаїв абсолютна кількість рослинних решток збільшується, проте в розрахунку на одиницю врожаю вона зменшується.

Коефіцієнт гуміфікації органічної речовини гною або рослинних решток розраховують за вуглецем. Експериментально встановлено, що в разі використання культурами 50 кг/га азоту в ґрунті мінералізується близько 1 т гумусу (або 1,7 – 1,8 % валового запасу гумусу в шарі ґрунту 0 – 40 см), а після збирання врожаю зернових втрати гумусу становлять 0,7 – 1,0 т/га (відповідно 0,7 – 0,8 %). На практиці в розрахунках можна використовувати такі коефіцієнти гуміфікації: для багаторічних трав, зернових, зернобобових і льону — 25 %, для кукурудзи та інших силосних культур — 15, для картоплі та овочів — 8, гною — 30, соломи і добрив — 25 %. Якщо частку просапних культур збільшують (під ними спостерігається найвищий ступінь мінералізації гумусу), то дозу органічних добрив треба підвищувати.

Для підтримання бездефіцитного і позитивного балансу гумусу використовують середні показники вмісту гумусу та його мінералізації (табл. 6.2).

Таблиця 6.2. **Баланс гумусу в сівозмінні** (за Міхаровим)

№ поля	Культура	Площа, га	Вміст гумусу в ґрунті		Мінералізація гумусу за рік, т/га	Поповнення запасів гумусу за рахунок пожнивних і кореневих решток, т/га
			%	ц/га		
1	Багаторічні трави	100	2,3	69	0,6	0,6
2	Багаторічні трави	102	2,4	72	0,6	0,6
3	Озима пшениця	102	2,3	6,9	1,0	0,4
4	Картопля	100	2,2	66	1,5	0,2
5	Овес	101	2,2	66	1,0	0,4
6	Кукурудза на силос	99	1,7	51	1,5	0,2
7	Ячмінь із підсівом багаторічних трав	103	2,1	6,1	1,0	0,4
Разом		707	—	457	7,2	2,8
Усереднено		101	2,2	65	1,03	0,4

У цьому разі на дерново-підзолистих ґрунтах у семипільній сівозміні з двома полями багаторічних трав дефіцит гумусу в середньому по сівозміні становить:

$$\underset{\text{(мінералізований)}}{1{,}03\ \text{т/га}} - \underset{\text{і кореневих решток)}}{\underset{\text{пожнивних}}{\underset{\text{за рахунок}}{\underset{\text{(поповнено}}{0{,}40\ \text{т/га}}}}} = 0{,}63\ \text{т/а або } 630\ \text{кг/га}.$$

На поля сівозміни вносять гній, який містить 22 %, або 220 кг/т сухої органічної речовини. Коефіцієнт гуміфікації гною — 20 %.

З 1 т гною утворюється

$$220 \cdot 20\ \% = 44\ \text{кг гумусу}.$$

Для бездефіцитного балансу гумусу на 1 га орної землі щорічно треба вносити

$$630\ \text{кг} : 44\ \text{кг} \cdot 1\ \text{т} = 14\ \text{т}$$

гною або інших органічних добрив.

Фактично на 1 га сівозмінної площі вносять 16 т/га. Поповнення витрат гумусу за рахунок фактичного накопичення його органічними добривами становить

$$630 \cdot 16 : 14 = 720\ \text{кг/га}.$$

Баланс гумусу:

$$720 - 630 = 90 \text{ кг/га або } 90 : 630 \cdot 100 = 14{,}3\ \%.$$

Розрахувавши баланс гумусу по кожній культурі і склавши його за всю ротацію, визначимо баланс гумусу за ротацію, або середній баланс за рік. Потім розробляють заходи щодо оптимізації балансу гумусу і конкретно розраховують накопичення органічних добрив на 1 га орної землі.

Т.М. Кулаковська розрахувала оптимальні параметри гумусу для дерново-підзолистих ґрунтів. Так, щорічне внесення 10 т/га сівозмінної площі якісних органічних добрив за оптимальних норм мінеральних добрив на фоні вапнування забезпечує високу продуктивність культур і на 34 % більше за виробництво кількості органічної маси кореневих решток, що може привести до збільшення кількості гумусу в супіщаному ґрунті в 2 рази за вихідного вмісту 1 % через 88 років, а при збільшенні норм гною до 12 т/га — через 66 років.

Згідно з даними Інституту землеробства УААН, вміст гумусу в дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах Полісся України можна довести до 2,5, а в глинисто-піщаних — до 1,9 – 2,0 %. Такий вміст гумусу досягнуто в ґрунтах індивідуальних присадибних ділянок, де протягом багатьох років вносять високі норми гною та інших органічних добрив.

6.9. Колообіг фосфору

Колообіг фосфору за структурою дещо простіший, ніж вуглецю й азоту. Фосфор як важливий і необхідний елемент протоплазми циркулює, поступово переходить у фосфати, які знову можуть використовуватись рослинами. Крім того, на відміну від вуглецю й азоту джерелом фосфору є не атмосфера, а гірські породи чи інші відклади, створені в минулі геологічні епохи. Геологічний цикл фосфору включає різні шляхи міграції в земній корі, інтенсивний біологічний колообіг і міграцію в гідросфері. Гірські породи поступово піддаються ерозії і вивільняють фосфати в екосистеми: багато їх потрапляє в море, де частина відкладається в мілководних осадах, а частина губиться в глибоководних.

Фосфор, як азот і сірка, належить до найважливіших елементів живлення органогенів. Його органічні сполуки необхідні для підтримання процесів життєдіяльності рослин і тварин, він входить до складу нуклеїнових кислот, складних білків, фосфоліпідів мембран, нуклеотидів, фосфопротеїнів та інших сполук.

Як компонент життєво важливих органічних сполук фосфор є носієм енергії в рослинному організмі. Під час гідролізу аденозинтрифосфорної кислоти (АТФ), яка входить до складу ДНК, вивільняєть-

ся близько 55 кДж/моль енергії. Макроергічні фосфатні зв'язки мають величезне значення в процесах обміну речовин у клітинах і в синтезі білка.

Азотне і фосфорне живлення рослин тісно пов'язані між собою. За нестачі фосфору в тканинах рослин накопичується нітратний азот, а синтез білків сповільнюється.

Фосфор концентрується органічними речовинами, де його вміст майже у 10 разів вищий, ніж у земній корі. Середній вміст фосфору в земній корі (літосфері, гідросфері, атмосфері) дорівнює 0,093 %, тобто його в декілька десятків разів більше, ніж азоту.

На суходолі відбувається інтенсивний колообіг фосфору в системі ґрунт — рослини — тварини — ґрунт.

Фосфор у ґрунті входить до складу мінеральних і органічних сполук. Його вміст залежить від гранулометричного складу ґрунту та кількості гумусу. Найменше фосфору в підзолистих ґрунтах Полісся, найбільше — в чорноземних ґрунтах.

Мінеральний фосфор у ґрунті переважає органічний, який представлений в основному фітинами, солями кальцію, заліза, алюмінію, нуклеїновими кислотами, фосфатидами та іншими органічними речовинами. Доступність фосфору рослинам у ґрунті постійно змінюється. Важкодоступні сполуки можуть переходити в більш доступні і навпаки.

Мінеральні сполуки фосфору представлені мінералами ґрунтотворних порід (апатити, фосфорити) і солями фосфорної кислоти. За доступністю рослинам мінеральні фосфоровмісні сполуки в ґрунті можна поділити на три групи: водорозчинні солі (дигідрофосфати кальцію і магнію, гідрофосфати калію, натрію, амонію); солі фосфорної кислоти, розчинні в органічних і мінеральних кислотах (дигідрофосфати кальцію і магнію); солі фосфорної кислоти, розчинні в мінеральних кислотах ґрунту (фосфати кальцію, частково заліза й алюмінію). За систематичного застосування фосфорних добрив вміст загального фосфору в ґрунті зростає більші ніж інших елементів, підвищується запас рухомих, доступних рослинам фосфатів.

Із ґрунту рухомі форми фосфору поглинаються у вигляді іонів. Фосфор органічних решток та гумусу мінералізується ґрунтовими мікроорганізмами і більша його частина переходить у слабкорозчинні солі. Органічні кислоти, що виділяються коренями рослин, переводять фосфор цих сполук у рухомі форми і рослини засвоюють його.

По ксилемі фосфор майже повністю транспортується в неорганічній формі, що надходить у листки і зони росту рослин. Із клітин листків він переміщується у ситоподібні трубки і по флоемі — в конус наростання і плоди.

Перетворення фосфору в рослині досить просте, оскільки в складних сполуках ступінь його окиснення залишається таким самим, як і під час поглинання.

Велике значення фосфору на початку вегетації рослин: він інтенсифікує ріст, зокрема кореневої системи, сприяє кращому засвоєнню поживних речовин, вологи. За достатнього фосфорного живлення прискорюється утворення генеративних органів.

Перехід незасвоюваних рослинами фосфорних сполук у засвоювані або, інакше, процес мобілізації фосфорної кислоти в ґрунті здійснюється різними шляхами. Певну роль у цьому відіграє ґрунтова вода, яка містить вуглекислий газ, здатна частково руйнувати нерозчинні фосфати кальцію і переводити їх у розчинні форми. Встановлено, що рослини можуть частково засвоювати фосфор із не розчинних у воді мінеральних сполук під впливом органічних кислот, що виділяються їх кореневою системою. У цих кислотах важкорозчинні фосфоровмісні сполуки поступово переходять у розчин і фосфорна кислота, що вивільнюється, засвоюється рослинами.

Фосфорна кислота в доступній рослинам формі найенергійніше утворюється в аеробних умовах. Якщо аналогічні процеси відбуваються за анаеробних умов, фосфор звітрюється з ґрунту в атмосферу у вигляді фосфіду водню.

Фосфорний режим ґрунту можна регулювати внесенням фосфорних мінеральних, органічних та вапнякових добрив. Вапнування кислих ґрунтів не змінює загального вмісту розчинних фосфатів, але підвищує ступінь їх рухливості і доступності рослинам.

Щоб встановити забезпеченість ґрунтів фосфором, крім знаходження вмісту рухомих форм треба визначати його запаси (пухкозв'язані і різноосно́вні фосфати). Врожайність сільськогосподарських культур тісно пов'язана з вмістом рухомого фосфору, сумою пухкозв'язаних і різноосно́вних фосфатів кальцію, а також фосфатним потенціалом ґрунту (загальним вмістом його у ґрунті).

Нині однією з найгостріших проблем є дедалі зростаючий дефіцит фосфору за дуже обмежених його запасів. Фосфор мінеральних добрив засвоюється лише на 20 – 30 %, а інша його частина перетворюється в ґрунті на важкодоступні рослинам фосфати, які можна мобілізувати за допомогою мікроорганізмів. Тільки ґрунтова мікрофлора здатна вивільнити фосфати з мінеральних і органічних сполук, підвищивши їх рухливість, за допомогою кислих метаболітів і ферментів.

За високих урожаїв із ґрунту виноситься велика кількість фосфору. Сполуки фосфору з атмосферними опадами чи шляхом біогенної фіксації з повітря не надходять. Тому навіть найкращі ґрунти без регулярного внесення фосфорних добрив через 40 – 50 років використання під посіви різко збіднюються, концентрація фосфору в ґрунтовому покриві значно знижується.

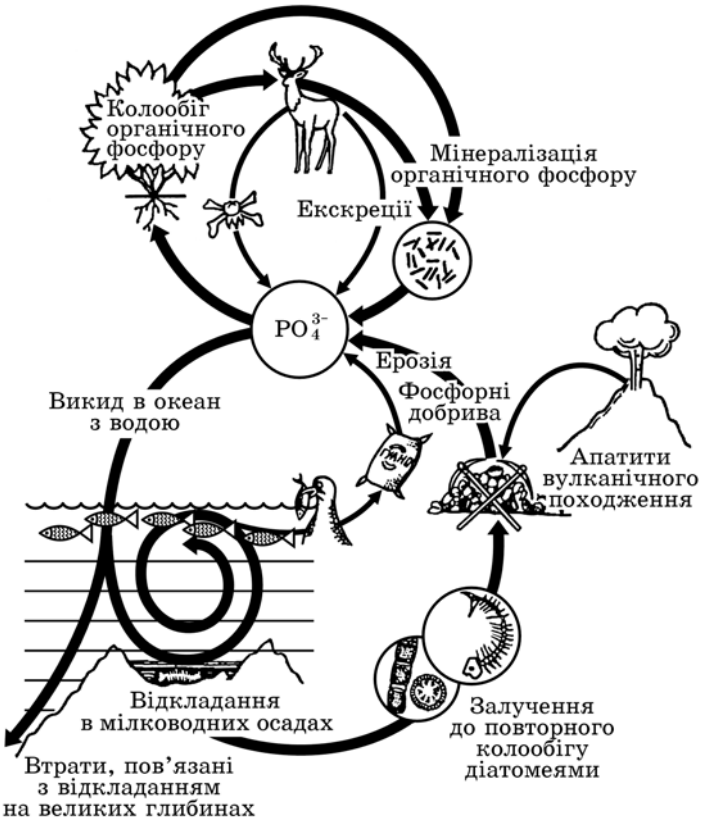


Рис. 6.3. Колообіг фосфору в біосфері
(за Дювиньо, Тангом)

Внаслідок водної ерозії поверхневим стоком з ґрунту змивається велика кількість гумусу, й отже, наявного в ньому фосфору.

Переміщення фосфору з біологічного колообігу в геологічний значно ускладнює фосфорну проблему. Через фосфорне голодування знижується урожайність сільськогосподарських культур і кормових трав, погіршується якість кормів, порушується фосфатна годівля свійських тварин. На полях, луках, пасовищах, де запаси фосфору не поповнюються, розвивається дефосфатизація. Тому внесення на такі угіддя фосфорних добрив є обов'язковим.

6.10. Колообіг сірки

Сірка у ґрунті міститься у формі мінеральних і органічних сполук. У більшості ґрунтів переважають органічні сірковмісні сполуки рослинних і тваринних решток. У торф'яних ґрунтах майже вся сірка входить до складу органічних сполук. Основною мінеральною формою сірки є сульфати кальцію, магнію та натрію.

Загальний вміст сірки у ґрунті в середньому становить 0,005 – 0,004 %.

Під час розкладання органічних речовин, які містять білок, поряд з іншими сполуками виділяється й сірка у вигляді сірководню H_2S.

Сірководень виділяється лише за анаеробних умов.

Сірководень — дуже отруйний газ, що згубно діє як на тваринні, так і на рослині організми. Проте в ґрунті він зазвичай не накопичується, тому що під дією сіркобактерій швидко окиснюється до сірчаної кислоти. Процес відбувається у дві стадії:

$$2H_2S + O_2 = S_2 + 2H_2O.$$

$$S_2 + 2H_2O + 3O_2 = 2H_2SO_4.$$

Чим пухкіший ґрунт і кращі умови газообміну, тим енергійніше H_2S перетворюється на H_2SO_4.

Сірчана кислота, що утворюється, у ґрунті взаємодіє з різними основами з виділенням сульфатів, звідки рослини й отримують необхідний їм для живлення елемент — сірку.

В погано аерованих, ущільнених, позбавлених припливу повітря (глейових) ґрунтах процес сульфуризації поступається місцем процесу десульфуризації, за якого особливі анаеробні бактерії відновлюють солі сірчаної кислоти знову до сірководню.

Рослини поглинають сульфат-іони SO_4^{2-} і відновлюють сірку до елементарного стану. У відновленій формі вона входить до складу амінокислот і білків у вигляді сульфгідрильних і дисульфідних груп.

За нестачі сірки гальмується синтез сірковмісних амінокислот і білків, знижується інтенсивність фотосинтезу і росту рослин, особливо надземних органів, що негативно позначається на їх урожайності.

У біосфері сформувався досить розвинений процес циклічного перетворення сірки та її сполук. Виявлено резервні фонди цього елемента в ґрунті, відкладах та атмосфері. В обмінному фонді сірки основна роль належить мікроорганізмам, за участю яких відбува-

ються реакції окиснення і відновлення. Колообіг сірки, як і азоту, піддається впливу промислового забруднення повітря оксидами сірки (SO_2) й азоту (NO і NO_2).

Внаслідок спалювання викопного палива значно збільшується вміст летких оксидів у повітрі, особливо в містах. Їх концентрації вже стають загрозливими для біотичних елементів екосистеми.

Основним джерелом забруднення атмосфери SO_2 є працюючі на вугіллі теплові електростанції, заводи з виробництва сірчаної кислоти та мідеплавильні, а основне джерело викидів NO_2 — автомобільні двигуни. В результаті хімічної взаємодії цих газів з іншими забрудниками їх шкідлива дія багаторазово посилюється (явище синергізму).

Щоб запобігти забрудненню атмосфери цими дуже шкідливими газами, слід налагодити належне очищення викопного палива від сірки, розробити нові типи двигунів внутрішнього згоряння, перейти на альтернативні тепловим електростанціям джерела енергопостачання тощо.

6.11. Колообіг кальцію, калію, магнію і натрію

Кальцій — один із найбільш поширених елементів осадового циклу. Він виноситься ріками, утворює поклади вапняків, бере участь у процесі горотворення і знову потрапляє в море. Наприклад, кількість фосфору, залученого в колообіг, становить усього 1 % кількості кальцію.

У більшості ґрунтів кальцію міститься багато. Його нестача спостерігається за сильної закисленості або засоленості ґрунту. За ставленням до кальцію рослини бувають кальціефілами, кальціефобами і проміжними. Вміст кальцію у дводольних рослинах більший, ніж в однодольних, у бобових культурах його в 4 – 5 разів більше, ніж у злакових.

Фізіологічна роль кальцію в рослинах пов'язана з його впливом на обмін вуглеводів і білкових речовин, забезпеченням нормального розвитку кореневої системи, специфічним впливом на колоїди плазми. Потреба в кальції виявляється на різних стадіях розвитку сільськогосподарських культур. Мобілізація запасних поживних речовин (крохмалю, білків), перетворення їх на простіші сполуки, які використовуються проростками, можуть сильно пригнічуватись за відсутності кальцію, що загрожує рослинам загибеллю. За нестачі кальцію активується відновлення нітратів до амонію, що може негативно вплинути на всі наступні процеси утворення білкових речовин. Кальцій бере участь у первинних механізмах поглинання іонів

клітинами коренів рослин, обмежує надходження інших іонів, усуває токсичність надмірних концентрацій іонів амонію, алюмінію, магнію і заліза, підвищує стійкість рослин до засолення ґрунту, знижує кислотність середовища.

Рослини використовують кальцій з його розчинних солей, які в певних кількостях містяться в ґрунтовому розчині у формі гідрокарбонату, нітрату і хлориду. Вміст кальцію в ґрунті визначає стан ґрунтового вбирного комплексу і реакцію середовища. В умовах вологого клімату з дерново-підзолистих ґрунтів промивного типу солі кальцію значно вимиваються і виносяться ґрунтовими водами, внаслідок чого ґрунт дуже збіднюється на кальцій. Більшість таких ґрунтів потребує докорінного або підтримувального вапнування.

Калій — один з елементів мінерального живлення. У ґрунті він входить до складу мінералів, часточок колоїдів органічних решток, мінеральних солей. Вміст його у ґрунті в десятки разів більший, ніж азоту і фосфору. У рослинах калій міститься у вигляді солей KCl, $KHCO_3$, K_2HPO_4 та катіонів. У клітині концентрація калію в сотні разів більша, ніж у навколишньому середовищі, і перевищує концентрацію інших металів. Найбільший його вміст у молодих тканинах рослин: меристемах, бруньках, молодих пагонах. Він може піддаватися повторному використанню (реутилізації). В зв'язку з відтоком калію зі старих листків у молоді в рослинах він знаходиться в мінеральній (іншій) формі.

Фізіологічна роль калію в житті рослин полягає насамперед у підтриманні сприятливих умов життєдіяльності клітини, фізико-хімічних властивостей протоплазми — її оводненості, в'язкості, еластичності. Калій позитивно впливає на морозо- і зимостійкість рослин, а також на стійкість їх до посухи.

Важливу роль калій відіграє у регуляції активності ферментів, пов'язаних із синтезом амінокислот, білків і полісахаридів, а також із реакціями формування стійкості рослин до захворювань. За нестачі калію в клітині збільшується вміст натрію, магнію, кальцію, вільного аміаку, іонів водню, мінеральних фосфатів і зменшується відтік продуктів асиміляції з листків, внаслідок чого знижується продуктивність фотосинтезу. Підживлення рослин калієм з урахуванням його винесення дає високий ефект.

Біохімічний цикл калію включає різноманітні процеси, що відбуваються передусім у земній корі. Внаслідок вивітрювання і кристалохімічних перетворень силікатів вивільнюються іони калію, які відразу ж поглинаються рослинами, що започатковують біологічний колообіг цього елемента. Біогенна міграція калію дуже велика, оскільки в організмах він міститься в іонній формі і практично не утворює сполук з органічними речовинами. Після відмирання орга-

нізмів калій швидко переходить у середовище і знову активно включається живими речовинами в колообіг.

Магній. Вміст магнію у ґрунті становить від кількох десятих часток відсотка до 3 % і більше. За вмістом у рослинах він посідає четверте місце після калію, азоту і фосфору. Його багато у молодих тканинах, генеративних і запасаючих органах. У зернівках він зосереджений у зародках. Магній досить рухливий елемент, але здатність його до реутилізації нижча, ніж азоту, фосфору та калію. Близько 70 % магнію зв'язано з аніонами органічних і неорганічних кислот.

Магній входить до складу хлорофілу, чим визначається його важлива роль у житті рослин. Він бере участь у вуглеводному обміні, активізації окисно-відновних процесів і діяльності ферментів. Разом з кальцієм магній визначає фізико-хімічний стан протоплазми. З ним пов'язане утворення генеративних органів рослин.

Внесення азотних, фосфорних і калійних добрив не тільки не усуває потребу рослин у магнії, а й посилює її, оскільки для рослин дуже важливі певні співвідношення між окремими елементами живлення.

За нестачі магнію, яка спостерігається в основному на піщаних і підзолистих ґрунтах, у рослинах знижується вміст фосфору, гальмується синтез фосфорорганічних сполук, полісахаридів і білків, накопичуються моносахариди і вільні амінокислоти, порушуються структура і функції пластид.

Як добриво цей елемент використовують у вигляді хлориду магнію.

Натрій у вигляді NaCl міститься в усіх ґрунтах. Його багато в рослинах-галофітах на засолених ґрунтах. У разі внесення в ґрунт натрій витісняє калій та інші елементи із ґрунтового вбирного комплексу, внаслідок чого вони стають доступними рослинам і сприяють підвищенню врожайності деяких культур, наприклад цукрових буряків.

Антропогенні зміни біохімічних циклів та ряди технофільності

В агросфері постійно зростає міграція хімічних елементів, зумовлена антропогенними чинниками, насамперед активною агрохімічною діяльністю людини. Так, щорічно в результаті збирання врожаю лише зернових культур у штучну міграцію залучається не менш як 48 млн т азоту, 36 калію, 12 млн т оксиду фосфору (P_2O_5).

З урахуванням усіх вирощуваних культур ці цифри будуть значно більшими.

У результаті виробничої, сільськогосподарської та іншої багатопланової діяльності людини сформувалася техногенна міграція

значних об'ємів найрізноманітніших речовин, більшість яких забруднює навколишнє природне середовище.

Сільськогосподарські рослини виявляють різну стійкість до токсикантів (табл. 6.3).

Таблиця 6.3. **Стійкість рослин до токсикантів**

Рослини	Токсикант		
	SO_2	HF	HCl
Зернові, включаючи кукурудзу	2	2	2
Соняшник та інші олійні	1	1	2
Картопля	1	1	2
Родина гарбузових	1	1	1
Зернові, злакові і злакові трави	2	5	3
Кормові бобові	3	5	3
Кормова капуста	1	5	1
Зерняткові	4	4	5
Кісточкові	2	5	3
Ягідні, волоський горіх	5	5	4
Виноград	3	5	5
Суниця садова	1	5	5
Смерека, ялина, сосна Веймутова	5	5	5
Сосна, туя, тис, ялівець, листяні дерева	3	3	3

П р и м і т к а. Цифрами позначено ступені токсичності: 1 — дуже малий, 2 — малий, 3 — середній, 4 — сильний, 5 — дуже сильний.

Хронічний вплив деяких токсичних газів, який оцінюють за зниженням продуктивності чи порушенням інших функцій рослин, шкідливий для різних культур різною мірою.

Чималої шкоди завдають рослинам сполуки сірки, які потрапляють в атмосферу внаслідок техногенних викидів. Небезпечним токсикантом для сільськогосподарських рослин є фтор та фтористі сполуки, що зумовлено високою хімічною активністю їх водорозчинних форм. Сполуки фтору вступають у реакції як з органічними, так і неорганічними компонентами ґрунту. В результаті відбувається диспергування ґрунтової маси, змінюються фізико-хімічні властивості ґрунту і, як наслідок, знижується його родючість.

Сполуки фтору можуть накопичуватись у рослинах у концентраціях, токсичних для людей і тварин. Характер і ступінь ураження рослин залежить від форми фтору, його концентрації, тривалості впливу, чутливості і віку рослин, вмісту мінеральних елементів живлення у ґрунті, польової вологоємності, температури повітря. Симптоми ураження рослин виявляються у вигляді крайових і верхівкових некрозів листків.

За сильного токсикозу листки набувають червоно-коричневого забарвлення. В разі інтоксикації рослин фтором він накопичується

в рослинах, у них знижуються вміст хлорофілу, інтенсивність фотосинтезу і біосинтезу білка, посилюється дихання, порушується мінеральне живлення через зв'язування кальцію, магнію, мангану. До ураження фтором стійкі бавовник і чайні кущі. Щоб оцінити вплив фтору, як біоіндикатор можна використовувати гладіолус, який починає в'янути навіть за незначних його кількостей.

Значної шкоди завдають ґрунту і рослинам соляна кислота та її сполуки. Під дією іонів хлору відбувається засолення ґрунтів, а під дією катіонів водню — їх підкислення. Багато рослин (зернові, включаючи кукурудзу, картопля, льон, бобові, плодові і ягідні культури), погано реагують на хлор, внаслідок чого зменшується врожайність цих культур.

Запитання для самоконтролю

1. Які речовини входять до складу біосфери? **2.** Що таке великий (біосферний) і малий (біотичний) колообіг речовин та енергії у біосфері? **3.** Яке значення ґрунту як сполучної ланки колообігу елементів живлення рослин? **4.** Схарактеризуйте колообіг азоту в природі. Поясність суть процесів амоніфікації, нітрифікації, денітрифікації. **5.** Що таке баланс гумусу в ґрунті? Як його оптимізувати? **6.** Розкажіть про колообіг фосфору. Яке значення в житті рослин має фосфор?





Розділ 7

ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА АГРОЕКОСИСТЕМИ

Агроекосистема — це штучна або змішана система рослинних і тваринних угруповань з невираженим або відсутнім механізмом саморегулювання. Їх проектна продуктивність підтримується за рахунок прямих і опосередкованих енергетичних інвестицій, у разі припинення або критичного зниження яких вона деградує.

Концепція агроекосистеми, яка є парадигмою сучасного і майбутнього землеробства, передбачає якнайповніший аналіз потоків речовин і енергії, при цьому останній як універсальній природнонауковій категорії надається пріоритет. Видатний учений О.Є. Ферсман вважав, що «…енергетичний підхід до аналізу процесів природи, які динамічно розвиваються, є кінцевою метою наших пошуків. Ми маємо перейти на єдине мірило визначення ходу процесів, причому таким може бути або калорія, або кіловат». Відомий американський еколог Ю. Одум назвав енергію «екологічною валютою».

Методичною основою формування енергетичного підходу є концепція К. Маркса щодо аналізу товарного виробництва: «різні речі стають порівнюваними лише після того, як вони зведені до однієї й тієї ж єдності». Порушена проблема найкраще вирішується мовою енергетики.

Деякі автори за енергетичними вкладами виділяють доіндустріальні агроекосистеми з додатковою енергією у вигляді м'язових зусиль людини, які навіть сьогодні займають значні площі орних земель у країнах Азії, Африки, Північної Америки. Розрізняють та-

кож агроекосистеми й іншого типу, що потребують постійного додаткового привнесення енергії. В агроекосистеми доіндустріального типу щорічно додатково надходить близько $2 \cdot 10^9$ Дж/га енергії, а в інтенсивні механізовані агроекосистеми розвинених країн — до $2 \cdot 10^{11}$ Дж/га. Доцільною є межа внесення додаткової енергії $15 \cdot 10^9$ Дж/га.

Сільське господарство України використовує дедалі більше сировини та енергії, з кожним роком збільшуються його матеріальні й енергетичні ресурси. Витрати енергії на виробництво одиниці маси сільськогосподарської продукції постійно зростають (упродовж XX ст. — у 8 – 10 разів), бо створення додаткового центнера врожаю забезпечується за рахунок вкладів енергії, носіями якої є не тільки органічні й мінеральні добрива, а й усі чинники родючості, які активно впливають на ріст і розвиток рослин. Не випадково, що за нинішнього рівня виробництва для підвищення врожайності, наприклад зернових, енерговитрати на техніку, добрива, пестициди, меліорацію значно збільшуються й набагато перевищують нормативні.

Частка енерговитрат на виробництво продовольчої продукції в загальному енергобалансі багатьох країн досягає 10 %.

Витрати пального на 1 га ріллі в Україні становлять 250 кг, що відповідає рівню його витрат у розвинених країнах. Однак у розрахунку на одиницю отриманої продукції ми витрачаємо його у 2 – 3 рази більше через низьку врожайність основних сільськогосподарських культур.

У зв'язку з цим в агропромисловому комплексі України необхідно запровадити енергетичний аналіз, який застосовують у сільському господарстві США, Угорщини та інших країн.

Основним завданням енергетичної оцінки є пошук і планування методів сільськогосподарського виробництва, які б забезпечили раціональне застосування непоновлюваної (викопної) і поновлюваної (природної) енергії, охорону навколишнього середовища. Оцінюють ефективність використання не тільки добрив, пестицидів, поливної води, а й природних ресурсів — ґрунту, клімату, тобто основних чинників продуктивності. Згідно з результатами досліджень, позитивна дія інтенсивних ресурсо- та енергозберігаючих технологій повністю залежить від своєчасного і точного дотримання всіх елементів технологічних процесів.

Фахівці вважають, що організаційними заходами можна забезпечити економію енергоресурсів у межах 20 – 25 % рівня нинішнього споживання.

Раціональне використання непоновлюваної та максимальне використання поновлюваної енергії — ефективний і пріоритетний напрям підвищення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва, і як наслідок, оптимізації екологічного балансу агро-

екосистеми, однією з базових складових якого є енергетичний блок, наведений на рис. 7.1.

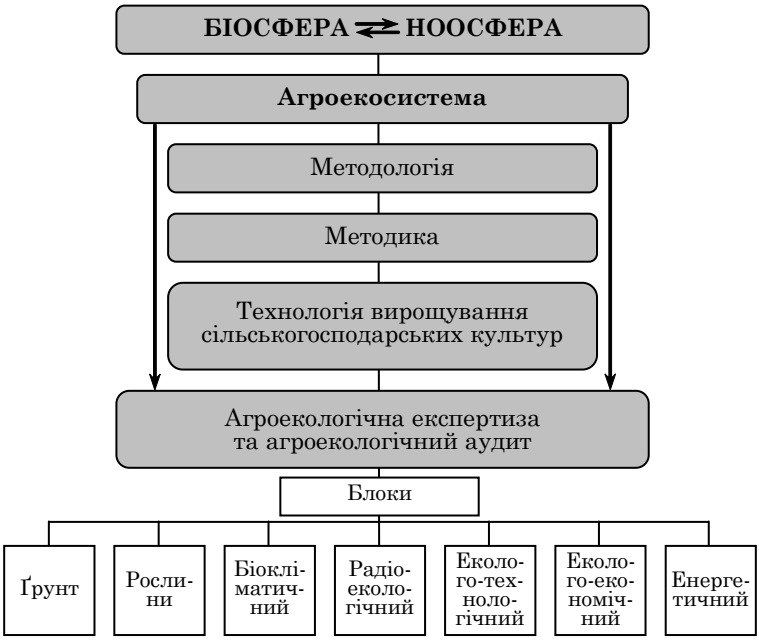


Рис. 7. 1. Концептуальна схема оптимізації екологічного балансу агроекосистеми
(за А.Т. Кардашовим)

Інтенсифікацію землеробства і збереження навколишнього середовища розглядають як єдиний процес. Водночас встановлено, що сільське господарство, в якому на виробництво «харчового» джоуля витрачається 10 джоулів непоновлюваної енергії, неперспективне.

7.1. Життя як термодинамічний процес

Життя — це особлива форма існування матерії, вища за фізичну і хімічну форми. Безперервний потік сонячної енергії, який сприймається молекулами живих клітин, перетворюється на енергію хімічних зв'язків. Створені так, наприклад у процесі фотосинтезу, хімічні речовини послідовно переходять від одних організмів до інших шляхом: рослини — рослиноїдні тварини — м'ясоїдні тварини першого порядку — м'ясоїдні другого і вищих порядків. Цей перехід ми розглядаємо як послідовний і впорядкований потік речовини та енергії.

Апроксимованим показником його може бути температура системи тіло — середовище, яка прагне до рівноваги. Тіло віддає тепло доти, доки його температура не зрівняється з температурою навколишнього середовища. На кінцевому етапі енергія будь-якого живого тіла може бути розсіяна в тепловій формі, після чого настає стан термодинамічної рівноваги, і подальші енергетичні процеси унеможливлюються. Про таку систему кажуть, що вона перебуває в стані максимальної ентропії*. Ентропія відбиває можливість перетворення енергії, її розглядають як міру невпорядкованості системи.

Якби потік сонячної енергії, що надходить на землю, тільки розсіювався, життя було б неможливим. Для того щоб ентропія системи не збільшувалась, організм має вилучати з навколишнього середовища від'ємну ентропію, або негентропію, тобто система має працювати проти температурного градієнта.

Саме живі організми або їх угруповання, в тім числі на рівні агроекосистем, здатні виконувати роботу проти вирівнювання температур навколишнього середовища за рахунок утворення складноорганізованих упорядкованих молекулярних структур.

Для виконання роботи проти температурного градієнта екосистеми (агроекосистеми) отримують енергетичну дотацію від сонця. Живий організм вилучає негентропію з їжі, використовуючи впорядкованість її хімічних зв'язків. Починається цей потік із процесу автотрофного живлення рослин — фотосинтезу. Первинна органічна речовина на землі утворюється в основному зеленими рослинами в процесі фотосинтезу під дією сонячної енергії у поєднанні з іншими екологічними чинниками (рис. 7.2). Цей процес ендотермічний, бо супроводжується поглинанням енергії. Згідно з другим законом термодинаміки, будь-які види енергії в кінцевому результаті перетворюються на теплову і розсіюються. Реакція фотосинтезу відбувається проти термодинамічного градієнта, тобто супроводжується накопиченням енергії в органічній речовині за рахунок перетворення енергії фотонів на енергію хімічних зв'язків.

Все це важливо враховувати в повсякденній практичній діяльності, оскільки вплив людини на навколишнє середовище, екосистему, як правило, виявляється в підвищенні невпорядкованості системи, й отже, зниженні її енергетичного потенціалу, збільшенні ентропії, внаслідок чого вона може перейти в стадію незворотної деградації (екологічні кризи і катастрофи).

---

* *Ентропія* (від грец. εντροπη — поворот, зміна, перетворення) — функція стану термодинамічної системи, яка в явищах і процесах, що розглядаються, характеризує незворотне розсіювання (знецінювання) енергії, зумовлене перетворенням усіх її видів на теплову і рівномірним розподілом її між тілами. Ентропія системи — міра її невпорядкованості, або кількості енергії, недоступної для використання. Чим більша ентропія, тим менш стійка система в часі і просторі.

За сучасних умов саме ці процеси знижують екологічний потенціал біосфери. Саме вони лежать в основі специфіки щорічного синтезу органічної речовини рослинними формаціями в розрізі ґрунтово-кліматичних зон, що, в свою чергу, є об'єктивним критерієм еколого-технологічного обґрунтування напряму аграрного виробництва, його економічної ефективності, програмування врожайності сільськогосподарських культур.

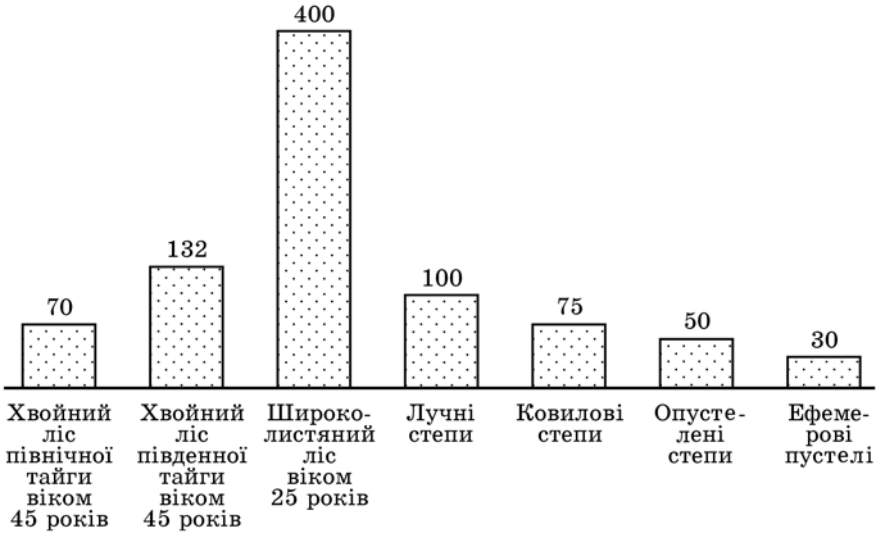


Рис. 7.2. Щорічний синтез органічної речовини рослинними формаціями, ц/га

Отже, життя можна розглядати як процес безперервного вилучення певною системою енергії з навколишнього середовища, перетворення і розсіювання цієї енергії при передачі її від однієї ланки ланцюга до іншої. Тому техногенез біосфери (агросфери) на шляху її еволюції в ноосферу необхідно узгоджувати з вихідними принципами енергетичної моделі життя як термодинамічного процесу.

7.2. Енергетика ґрунтотворення

Енергетичні зміни, що відбуваються в природі, — це сфера досліджень, яку охоплюють поняття і концепції термодинаміки, закони якої можна застосувати до всіх макросистем без винятку. За висловом А. Ейнштейна, — це єдина фізична теорія універсального

значення, яка в межах застосування своїх основних концепцій ніколи не буде спростована.

Основні закони термодинаміки повністю стосуються і ґрунту, що є певною термодинамічною системою.

Ґрунт як термодинамічна система

Системою в термодинаміці називають тіло або сукупність тіл певних розмірів із певними межами. Ґрунт як самостійне природне тіло в цьому розумінні є термодинамічною системою, межі якої можна розглядати у фізичному розумінні або як гіпотетичні (математичні) поверхні. Основною властивістю меж ґрунтової системи є їх здатність пропускати крізь себе в обох напрямках потоки речовини й енергії, не акумулюючи ні речовину, ні енергію.

Реальний ґрунт — це складна відкрита система, яка знаходиться в постійному масо- й енергообміні з навколишнім середовищем, оскільки він є компонентом структурної одиниці біосфери — біогеоценозу (екосистеми). Водночас з аналітичною метою ґрунт можна розглядати, з дотриманням певних обмежень, як замкнену систему. Ґрунт — гетерогенна система, що складається з кількох гомогенних термодинамічних систем із різними властивостями. *Гомогенною* називають систему, для якої характерна безперервність інтенсивних властивостей по всьому об'єму. Відомо, що властивості ґрунту змінюються не тільки при переході від твердої фази до рідкої чи газуватої, а й при переході від одного генетичного горизонту до іншого по профілю ґрунту.

Складність ґрунту як термодинамічної системи полягає ще й у тому, що він є багатофазною системою, коли під фазою розуміти будь-яке гомогенне тіло, що відрізняється від найближчого оточення різкою зміною властивостей на своїх межах.

Термодинамічний стан системи — це сукупність її термодинамічних властивостей у певний момент часу. Будь-які зміни системи, пов'язані зі зміною хоча б однієї її властивості, визнають за термодинамічний процес. У реальних умовах в термодинамічній системі відбуваються зворотні і незворотні процеси. *Зворотний* процес припускає повернення системи в початковий стан без будь-яких змін як у зовнішньому середовищі, так і в самій системі. Якщо внаслідок термодинамічного процесу в системі чи навколишньому середовищі відбуваються будь-які зміни хоча б однієї властивості, такий процес є *незворотним*.

Усі ґрунтові процеси, в тім числі ґрунтоутворення, є незворотними в термодинамічному розумінні. Це пов'язано з тим, що природні процеси відбуваються з певною швидкістю і з кінцевими різницями сил, що діють на систему, та сил, що їм протидіють. Вони супрово-

джуються втратами, яким не можна запобігти, — внаслідок тертя, випромінювання, дифузії, теплопередачі та ін.

Отже, з термодинамічного погляду ґрунт є відкритою гетерогенною і багатофазною системою, яка характеризується перебігом незворотних термодинамічних процесів.

Закони, принципи і правила термодинаміки до реальних ґрунтів треба застосовувати з урахуванням цього.

Основні закони термодинаміки стосовно ґрунтознавства

Перший закон термодинаміки виходить із закону збереження і перетворення енергії, відкритого Лавуазьє. Оскільки в ґрунтознавстві розглядають механічні нерухомі системи за відсутності зовнішнього силового поля, то повна енергія таких систем практично дорівнює їх внутрішній енергії.

Для ґрунтознавства найдоцільніше таке формулювання першого закону термодинаміки: *тепло, яке отримує система, витрачається на збільшення її внутрішньої енергії та на виконання роботи проти дії зовнішніх сил, а також втрачається у вигляді речовини і тепла*. Відомо, що ґрунтові процеси відбуваються як внаслідок зміни вихідного ґрунтотворного матеріалу на місці, так і в результаті одночасних надходження і винесення нових мас мінеральних і органічних сполук під впливом біологічних, геологічних та геохімічних процесів.

Тому застосування першого закону термодинаміки до ґрунтових процесів утруднене багатокомпонентністю систем ґрунту і складною, недостатньо вивченою схемою їх формування.

Надходження енергії в ґрунт у вигляді тепла — тільки один зі шляхів енергообміну ґрунтів; іншим шляхом є надходження енергії в процесі геохімічного обміну в ландшафті. Звідси стає зрозумілою обмеженість закону кліматичної зональності ґрунтів, який відбивається в дискретності на земній поверхні ґрунтово-геохімічних формацій та «адекватних» ґрунтово-геохімічних ландшафтів. Енергетика ґрунтів пов'язана не тільки з радіацією, а й з біохімічною акумуляцією і міграцією речовини. В умовах сучасної екологічної руйнації агросфери роботу живого моноліту ґрунту проти температурного градієнта можна розглядати як окремий напрям теорії і практики підвищення екологічного рівня сільськогосподарського виробництва.

Другий закон термодинаміки сформулював Р. Клаузіус для визначення напрямку термодинамічного процесу. Суть його така: *тепло само по собі ніколи не переходить від холодного тіла до нагрітого*. Другий закон термодинаміки дає змогу розділити всі процеси, припустимі першим законом, на такі, що відбуваються довільно і ви-

мушено за даних умов. Він підкреслює істотну відмінність двох форм передачі енергії — теплообміну і роботи. На відміну від необмеженого переходу роботи в теплоту, перебіг зворотного процесу обмежений певними умовами.

Математична форма запису другого закону термодинаміки безпосередньо пов'язана з поняттям ентропії S:

$$dS = dQ/T.$$

Ентропія — це функція стану системи, диференціал якої в елементарному зворотному процесі дорівнює відношенню безмежно малої кількості тепла Q, наданого системі, до абсолютної температури T останньої. Ентропія є функцією, яка математично виражає однобічну спрямованість термодинамічних процесів, що відбуваються в системі.

Згідно з другим законом термодинаміки, за перебігу незворотних процесів в ізольованій системі ентропія завжди позитивна. У відкритих системах процеси можуть відбуватися як зі збільшенням, так і зменшенням ентропії.

Третій закон термодинаміки ґрунтується на теоремі Нернста, за якою в будь-якому ізотермічному процесі, що відбувається за абсолютного нуля температури, зміна ентропії системи дорівнює нулю незалежно від зміни інших параметрів стану, тобто $dS_T = 0$ і $S = S_0 = \text{const}$.

Для вивчення такої полідисперсної системи, як ґрунт, цей закон практично непридатний. Його можна використовувати тільки для дослідження окремих компонентів (підсистем ґрунту). Однак слід зазначити, що тут ми вступаємо в методологічне протиріччя, а саме — порушуємо фундаментальне уявлення про ґрунт як дискретно-безперервне природне тіло з прогресивним генезисом.

Надходження енергії в ґрунт

На сьогодні ґрунтознавство ще не має потрібного запасу фактичного матеріалу для проведення повного енергетичного аналізу ґрунту як термодинамічної системи. Проте не можна не згадати слова одного з піонерів вивчення енергетики ґрунтотворення В.Р. Волобуєва, який наголошував, що будь-які дослідження цієї проблеми на сучасному етапі можуть бути тільки приблизними, схематичними, та навіть і такі вони становлять певний інтерес.

Відомо, що головним джерелом теплової енергії для ґрунту, верхнього шару літосфери та гідросфери є сонячна радіація. Тепловий і водний баланси земної поверхні є тими головними механізмами, які визначають інтенсивність і характер усіх інших форм обміну енер-

гією та речовиною між основними компонентами географічного середовища, тобто кліматичними, гідрологічними, ґрунтотворними, біологічними, іншими явищами, які відбуваються на земній поверхні і мають зворотний зв'язок.

Для енергетичних розрахунків теплових потоків на поверхню ґрунту найзручнішим є узагальнене рівняння теплового і радіаційного балансів земної поверхні, запропоноване голландським ученим В.Р. Ван Війком:

$$(1-\alpha)Q = B^* + Q_г + Q_т + qE,$$

де α — відбивна здатність (альбедо) земної поверхні; Q — сумарна сонячна радіація, що надходить на одиницю площі земної поверхні (сумарна кількість прямої і розсіяної радіації); B^* — ефективне випромінювання, що дорівнює різниці власного випромінювання земної поверхні та зустрічного випромінювання атмосфери; $Q_г$ — потік тепла в глиб ґрунту (між його поверхнею і шарами, що лежать нижче); $Q_т$ — турбулентний потік тепла між поверхнею землі та атмосферою; qE — витрати тепла на випаровування (чи виділення тепла під час конденсування вологи); E — швидкість випаровування (конденсації) вологи, кг/м·с; q — прихована теплота випаровування, Дж/кг.

Незначну частку сонячної радіації використовують рослини. Фотосинтезуючі організми біосфери засвоюють у середньому близько 0,5 % сонячної радіації, що надходить на поверхню землі. Що стосується співвідношення радіаційного балансу і річних опадів, тобто «радіаційного показника зволоження», або «радіаційного індексу сухості», то від його зміни залежить характер змін і співвідношення членів витратної частини водного балансу з усіма наслідками. Це має не тільки пізнавально-теоретичне, а й практичне значення.

У рівняння радіаційного і теплового балансів входять витрати тепла на випаровування із земної поверхні, яке пропорційне швидкості випаровування E, а випаровування із земної поверхні — входить у загальне рівняння водного балансу:

$$r = V + E + \Delta W,$$

де r — річна кількість опадів; V — річні поверхневий і внутрішньоґрунтовий стоки; ΔW — зміна вмісту води у верхніх шарах літосфери включаючи ґрунт.

Обидва баланси, що розглядаються, діалектично пов'язані між собою, тому вивчення їх відокремлено методологічно неправильне.

Радіаційний індекс сухості R/qr (R — радіаційний баланс земної поверхні) та показник використання радіації на випаровування

R/qE можуть добре характеризувати зональність фізико-географічних умов і витрат сонячної енергії на біологічні процеси (табл. 7.1).

Таблиця 7.1. **Значення радіаційного індексу сухості та показника використання радіації на випаровування в різних географічних зонах** (за А.А. Григор'євим)

Зона (північна межа)	R/qr	R/qE
Помірний пояс	0,4	0,20
Південна тайга	0,6	0,20 – 0,43
Листяні ліси	0,8	0,46 – 0,50
Степ	1,0	0,55 – 0,60
Напівпустеля	2,0	1,0 – 1,1
Пустеля	3,0	1,8 – 2,3
Південна пустеля	4,0	3,0 – 3,8
Субтропіки	6,0	5,0

Кількісну характеристику надходження енергії в ґрунт із живою органічною речовиною з певним наближенням можна визначити за біологічним колообігом вуглецю в екосистемах біосфери (табл. 7.2).

Таблиця 7.2. **Середній річний потік вуглецю в ґрунт у трофічних ланках трьох різних екосистем** (за В.А. Ковдою)

№ з/п	Ланка трофічного ланцюга	Широколистяний ліс		Лучний степ		Культурне поле	
		С, ц/га	Енергія, Дж/га	С, ц/га	Енергія, Дж/га	С, ц/га	Енергія, Дж/га
1	Залучення до фотосинтезу	250	$1{,}04 \cdot 10^{12}$	200	$3{,}38 \cdot 10^{11}$	40	$1{,}68 \cdot 10^{11}$
2	Згоряння в процесі вегетації	125	$5{,}20 \cdot 10^{11}$	100	$4{,}19 \cdot 10^{11}$	20	$8{,}38 \cdot 10^{10}$
3	Річна продукція фітомаси	125	$5{,}20 \cdot 10^{11}$	100	$4{,}19 \cdot 10^{11}$	20	$8{,}38 \cdot 10^{10}$
4	Поїдання фітофагами	50	$2{,}08 \cdot 10^{11}$	40	$1{,}68 \cdot 10^{11}$		
4	Залишок у фітомасі, всього	75	$3{,}12 \cdot 10^{11}$	60	$2{,}51 \cdot 10^{11}$	20	$8{,}38 \cdot 10^{10}$
6	Згоряння в процесі життєдіяльності фітофагів	37,5	$1{,}56 \cdot 10^{11}$	30	$1{,}26 \cdot 10^{11}$		
7	Річна продукція маси фітофагів	12,5	$5{,}20 \cdot 10^{10}$	10	$4{,}19 \cdot 10^{11}$		
8	Поїдання хижаками першого порядку	5	$2{,}00 \cdot 10^{10}$	4	$1{,}67 \cdot 10^{10}$		
9	Залишок у зоомасі фітофагів	7,5	$3{,}12 \cdot 10^{10}$	6	$2{,}52 \cdot 10^{10}$		

Закінчення табл. 7.2

№ з/п	Ланка трофічного ланцюга	Широколистий ліс		Лучний степ		Культурне поле	
		С, ц/га	Енергія, Дж/га	С, ц/га	Енергія, Дж/га	С, ц/га	Енергія, Дж/га
10	Згоряння в процесі життєдіяльності хижаків першого порядку	2,5	$1{,}04 \cdot 10^{10}$	2	$8{,}38 \cdot 10^{9}$		
11	Річна продукція маси хижаків першого порядку	2,5	$1{,}04 \cdot 10^{10}$	2	$8{,}38 \cdot 10^{9}$		
12	Поїдання хижаками другого порядку	1,25	$5{,}20 \cdot 10^{9}$	1	$4{,}19 \cdot 10^{9}$		
13	Залишок у зоомасі хижаків першого порядку	1,25	$5{,}20 \cdot 10^{9}$	1	$4{,}19 \cdot 10^{9}$		
14	Згоряння в подальшому ланцюгу	0,5	$2{,}08 \cdot 10^{9}$	0,5	$2{,}10 \cdot 10^{9}$		
15	Залишок у біомасі в подальшому ланцюгу	0,75	$3{,}12 \cdot 10^{9}$	0,5	$2{,}10 \cdot 10^{9}$		
16	Залишок у біомасі, всього (5+9+13+15)	84,5	$3{,}52 \cdot 10^{11}$	67,5	$2{,}83 \cdot 10^{11}$	20	$8{,}38 \cdot 10^{10}$
17	Вилучення людиною	—	—	—	—	10	$4{,}19 \cdot 10^{10}$
18	Щорічно опадає і відпадає	30	$1{,}26 \cdot 10^{11}$	65	$2{,}37 \cdot 10^{11}$	10	$4{,}19 \cdot 10^{10}$
19	Реальний річний приріст біомаси	54,5	$2{,}26 \cdot 10^{11}$	2,5	$1{,}05 \cdot 10^{11}$		
20	Залишок гумусу у підстилці і ґрунті, надходження на синтез	12	$5{,}03 \cdot 10^{10}$	26	$1{,}09 \cdot 10^{11}$	4	$1{,}68 \cdot 10^{10}$
21	Акумулювання в гумусі	4,8	$2{,}11 \cdot 10^{10}$	10,5	$4{,}41 \cdot 10^{10}$	1,6	$6{,}70 \cdot 10^{9}$
22	Акумулювання в гумусі, % залученого у фотосинтез	1,9	1,9	5,2	5,2	4	4

У розрахунку енергетичного потоку прийнято, що 1 кг вуглецю біомаси відповідає $42 \cdot 10^{6}$ Дж енергії. Отже, щорічно в ґрунт надходить з мертвими органічними рештками $(1{,}7 – 10{,}9) \cdot 10^{10}$ Дж/га енергії, що є сонячною енергією, трансформованою фотосинтезом і акумульованою у вигляді хімічної енергії органічних сполук. За коефіцієнта гуміфікації 0,4 це дає річну акумуляцію енергії в гумусі ґрунту $(6{,}7 – 44{,}1) \cdot 10^{9}$ Дж/га, проте одночасно відбувається процес мінералізації гумусу, який супроводжується витратами енергії.

Загалом для ґрунтів баланс органічної речовини позитивний, тому всі ґрунти суходолу тією чи іншою мірою збагачені на органічну речовину, й отже, акумульовану в ній енергію. В цьому полягає загальнопланетарна функція ґрунтового покриву, цієї, за визначенням В.І. Вернадського, «благородної плівки іржі». У трав'янистих ландшафтах суходолу запас енергії у гумусовому шарі у 20 – 30 разів перевищує запаси енергії в рослинній біомасі. У лісових ландшафтах запаси фітомаси та її енергії в 2 – 3 рази більші за запаси органіки й енергії лісових ґрунтів.

Наведені дані підтверджують велику роль органічної речовини ґрунту і запасів енергії в гумусовій оболонці у створенні зообіомаси і так званої вторинної продуктивності.

Це фундаментальне положення недостатньою мірою враховується при вдосконаленні систем землеробства та підвищенні ступеня їх екологічної ефективності.

Уявлення про біомасу і гумусову оболонку суходолу дають такі дані:

	Маса, т	**Енергія, Дж**
Біомаса	$(3…5)\cdot10^{12}$	$6{,}3\cdot10^{22}$
Гумусова оболонка	$2{,}4\cdot10^{12}$	$5{,}4\cdot10^{22}$

Відомі не лише згадані вище трофічні ланцюги прямого типу: рослини — фітофаги — хижаки — некрофаги — бактерії — ґрунт, а й трофічні ланцюги зворотного типу: гумус ґрунту — гумофаги — дрібні хижаки — великі хижаки. Тому очевидно, що значення гумусового шару не вичерпується «обслуговуванням» потреб рослин щодо створення фітобіомаси.

Ґрунти з їх гумусовою оболонкою самі слугують середовищем, що створює зообіомасу різного рівня. З цього погляду ґрунтовий покрив як компонент біосфери є універсальним земним акумулятором і економічним дистриб'ютором найціннішої для підтримання життя енергії, зв'язаної в гумусі і необхідної для нормального обміну й колообігу речовини в природі.

Трофічні ланцюги ґрунту зворотного типу відіграють чи не найголовнішу роль у стабілізації енергетичного потенціалу агроекосистеми, а значить, екологічного рівня агросфери загалом.

Отже, основна частина сонячної енергії, що досягає земної поверхні, надходить у ґрунт у вигляді теплової енергії і витрачається на забезпечення перебігу процесів, пов'язаних із волого- і теплообміном у системі ґрунт — організми — атмосфера — гідросфера — літосфера. Ця частина сонячної енергії, яка становить щонайменше 99,9 % загальної, втрачається з ґрунту у вигляді теплової. Тільки незначна її частина (не більш як 0,1 %) трансформується в енергію

хімічних зв'язків органічних і мінеральних речовин та акумулюється в ґрунті, поповнюючи запас його внутрішньої енергії. Тому хоча наші можливості в регулюванні цього процесу обмежені, треба вживати всіх заходів для його оптимізації.

Запас енергії в ґрунті

Вирішення проблеми визначення запасу енергії в ґрунті на сьогодні перебуває в зародковому стані. Дослідники здебільшого визначають його за запасом у ґрунті сухої органічної речовини. Однак встановлено, що енергія гумусу становить лише 0,1 – 1 % повної внутрішньої енергії ґрунту, а основна частина внутрішньої енергії ґрунту зосереджена в кристалічних ґратках мінералів.

Узагальнивши результати досліджень учених, що займались цією проблемою, В.А. Ковда дійшов висновку, що для енергетичних розрахунків можна взяти середній вміст енергії в гумусі $20{,}9 \cdot 10^9$ Дж на 1 т сухої речовини. Багато вчених вважає, що для гумусу в середньому краще брати значення 23 кДж/г, або 23 МДж/кг, як найбільш реальне для розрахунків запасу енергії в органічній речовині ґрунту. У своїх працях В.А. Ковда наводить визначені ним показники щодо загального запасу енергії в 1-метровому шарі ґрунтів (табл. 7.3).

Таблиця 7.3. **Загальний запас гумусу та енергії в 1-метровому шарі ґрунтів**

Ґрунт	Запас гумусу, т/га	Запас енергії в шарі 1 м, $E \cdot 10^{11}$, Дж/га ($E \cdot 10^7$, Дж/м^2)
Тундровий	40	9,2
Дерново-підзолистий	99	22,6
Лучний заплавний	300	70,0
Сірий лісовий	215	49,3
Чорнозем типовий	550	126,2
Сіро-бурий пустелі	80	18,4

Дещо інші цифри стосовно запасів гумусу в ґрунтах знаходимо у працях О.О. Бацули та ін., які оцінюють їх так, т/га:

- дерново-підзолисті, піщані, глинисто-піщані — < 50;
- ясно-сірі, сірі лісові — до 80 – 111;
- темно-сірі лісові і чорноземи опідзолені — до 200 – 400;
- чорноземи типові і звичайні середньогумусні — до 550 – 650;
- чорноземи південні — до 200 – 300;
- темно-каштанові, каштанові — до 150 – 180.

Вони визначили середньовиважені запаси гумусу та його внутрішньої енергії в орному шарі та в межах усього гумусового профілю

ґрунтів адміністративних областей і природних зон України загалом (табл. 7.4).

Таблиця 7.4. **Запаси гумусу та його внутрішньої енергії в ґрунтах областей і зон України**

Область, природна зона	Запас гумусу, т/га		Запас внутрішньої енергії гумусу			
	у шарі 0–30 см	у гумусовому профілі	у шарі 0–30 см		у гумусовому профілі	
			$\times 10^6$ МДж/га	$\times 10^8$ ккал/га	$\times 10^6$ МДж/га	$\times 10^8$ ккал/га
Волинська	81	100	1,86	4,45	2,30	5,50
Житомирська	103	106	2,37	5,66	2,44	5,83
Закарпатська	139	149	3,20	7,64	3,44	8,20
Івано-Франківська	129	187	2,51	7,10	4,32	10,30
Львівська	109	193	2,51	5,99	4,44	10,60
Рівненська	100	112	2,30	5,50	2,58	6,16
Чернігівська	96	194	2,21	5,28	4,47	10,67
Полісся	101	150	2,33	5,56	3,46	8,25
Вінницька	116	221	2,67	6,38	5,10	12,16
Київська	1256	278	2,88	6,88	6,41	15,29
Полтавська	150	396	3,46	8,25	9,13	21,78
Сумська	148	300	3,41	8,14	6,91	16,5
Тернопільська	151	311	3,48	8,31	7,17	17,11
Харківська	181	417	4,17	9,96	9,61	22,94
Хмельницька	118	273	2,72	6,49	6,29	15,02
Черкаська	132	303	3,04	7,26	6,98	16,66
Чернівецька	131	198	3,02	7,21	4,56	10,89
Лісостеп	141	315	3,25	7,76	7,26	17,32
Луганська	156	304	3,60	8,58	7,01	16,72
Дніпропетровська	153	330	3,53	8,42	7,60	18,15
Донецька	152	324	3,50	8,36	7,47	17,82
Запорізька	114	254	2,63	6,27	5,85	13,97
Кіровоградська	158	397	3,64	8,69	9,15	21,84
Миколаївська	140	306	3,23	7,70	7,05	16,83
Одеська	126	264	2,90	6,93	6,08	14,52
Херсонська	94	179	2,17	5,17	4,12	9,84
АР Крим	104	176	2,40	5,72	4,06	9,68
Степ	129	285	2,97	7,10	6,57	15,68
По Україні	128	274	2,95	7,04	6,31	15,07

За сучасними уявленнями, запас енергії мінерального компонента ґрунту акумульований у вигляді енергії їхніх кристалічних ґраток. Такий підхід досить плідний для гео- та кристалохімії, а для ґрунтознавства в теоретичному і тим більше практичному плані він мало що дає. Проте в умовах глибокої деградації ґрунтів, на нашу думку, він заслуговує на увагу.

Показники енергії кристалічних ґраток деяких ґрунтових мінералів та окремих оксидів визначені О.Є. Ферсманом (МДж/моль):

Альбіт	47,96	MgO	3,91
Мусковіт	67,18	CO_2	17,14
Каолініт	46,00	H_2O	1,57
NaCl	0,75	Al_2O_3	15,12
$CaCl_2$	2,28	P_2O_5	41,47

Наведені показники можна використовувати для розрахунків внутрішньої енергії мінерального комплексу ґрунту. Таку спробу зробив В.Р. Волобуєв, який розрахував енергію кристалічних ґраток різних ґрунтів; за його даними, вона коливається від 16 до 21 МДж на 100 г ґрунту.

Заслуговує на увагу енергія живої речовини ґрунту, в тім числі коріння, вермибіота тощо. За даними С. Алієва, запас енергії в гумусі чорноземів перевищує запас енергії в мікробній масі в 40 –120 разів, а в біомасі безхребетних тварин — у 100 – 200 разів. Незважаючи на відносно невелику питому вагу цього компонента ґрунту, слід враховувати його принципово інший якісний рівень.

Енергетичний баланс ґрунтотворення

На сьогодні проблема енергетики ґрунтотворення здебільшого вичерпується працями з теоретичного ґрунтознавства, і навіть на цьому рівні перебуває в зародковому стані.

В.Р. Волобуєв для визначення енергетичного балансу ґрунтотворення запропонував таке рівняння:

$$E = E_1 + E_2 + b_1 + b_2 + i_1 + i_2 + q + c,$$

де E — кількість енергії, що бере участь у ґрунтотворенні; E_1 — енергія, яка витрачається при фізичному руйнуванні ґрунтотворних порід; E_2 — енергія хімічного розкладання мінеральних ґрунтотворних порід у процесі вивітрювання; b_1 — енергія, що акумулюється в органічній речовині; b_2 — енергія, яка витрачається в біологічних реакціях перетворення органічних і мінеральних речовин; i_1, i_2 — енергія, яка витрачається відповідно на випаровування з поверхні ґрунту та в процесі транспірації; q — втрати енергії в процесі механічної міграції солей і дрібнозему в ґрунті; c — енергія, яка витрачається на теплообмін у системі ґрунт — атмосфера.

Найбільші витрати енергії, на думку В.Р. Волобуєва, пов'язані з біологічними процесами перетворення речовини внаслідок хімічного, фізичного вивітрювання, водно-теплового колообігу, а також із

міграцією речовини по профілю ґрунту. При цьому основним джерелом енергії, безумовно, є сонячна енергія, що досягає земної поверхні.

Для визначення загальних витрат енергії на ґрунтотворення він запропонував таку формулу:

$$E = 2,4Re^{\frac{-23,1(2,4R)^{0,67}}{r}},$$

де R — радіаційний баланс земної поверхні, кДж/(см^2·рік); r — сумарна кількість опадів, мм.

В.А. Ковда вважав сумарні витрати енергії на ґрунтотворення найменшими в тундрах і пустелях (8,4 – 21,0 кДж/(см^2·рік)), а найбільшими — у вологих тропіках (250,8 – 292,6 кДж/(см^2·рік)). На лісове ґрунтотворення в середніх широтах і для степу сумарні витрати енергії становлять 41,8 – 167,2 кДж/(см^2·рік).

Переважна частина витрат теплової енергії на ґрунтотворення припадає на випаровування і транспірацію (95 – 99,5 %). Частка циклічних біологічних процесів у середньому становить близько 1 % загальної енергії ґрунтотворення.

За даними С. Алієва, на чорноземах при загальних річних витратах енергії на біологічні процеси 21,07 кДж/см^2 на приріст фітомаси витрачається 1,42, мікробної маси — 3,43, новоутворення ґрунту — 0,50, мікробіологічні процеси — 15,72 кДж/см^2. У процесі розкладання і гуміфікації рослинних решток частина енергії втрачається, а енергетична цінність новоутвореного гумусу підвищується, що підтверджують такі дані щодо зміни балансу енергії на чорноземах, кДж/г:

Теплота згоряння	
свіжих коренів (E)	16,68
гуміфікованих коренів ($E_г$)	19,59
Енергія, накопичена в коренях	
гуміфікованих ($E' = E_г - E$)	2,91
які збереглися від розкладання (E_R)	5,12
Втрати енергії в процесі розкладання коренів ($E - E_R$)	11,56
Коефіцієнт використання енергії на новоутворення гумусу $\left(K = \frac{E'}{E - E_R}\right)$	0,250

Гіпотетично можна вважати, що значні поправки в сучасні уявлення про «енергетичний котел» ґрунтотворення внесе інтенсивна діяльність людини, яка за своїм енергетичним потенціалом зіставна з геологічними процесами.

Енергетика екосистем і біосфери загалом

Ґрунт є одним із компонентів екосистеми (агроекосистеми) й основною структурною одиницею біосфери. Тому енергетичні процеси в ґрунтах неправомірно розглядати ізольовано від усієї сукупності біосферних процесів. Присутність живої речовини в біосфері надає своєрідної специфіки енергетичним явищам на поверхні землі та збагачує її запасом енергії, здатної до подальшої трансформації.

Як зазначав В.І. Вернадський, жива речовина переробляє на нашій планеті три форми енергії:

1 — космічну променисту енергію Сонця — теплову і світлову;

2 — космічну атомну енергію радіоактивного розпаду;

3 — космічну енергію розсіяних елементів, що надходить із нашої галактики (Чумацького Шляху).

Жива речовина на земній поверхні створює вільну енергію і відповідно спричинює величезні хімічні зміни на нашій планеті. Ця біогенна енергія перебуває як у діючому стані, здатному виконувати роботу, так і в потенційному. Енергетичний напрям при вивченні компонентів природних комплексів у межах СНД почав розвиватись ще в 1930-х роках завдяки працям Є.В. Борудського, В.С. Івлєва, Г.Г. Вілберга. Особливо великий вплив справили праці В.М. Сукачова з біогеоценології та праці Теслі, Хатчилсона, Тіндемана з екосистемного аналізу біосфери. Нині цей напрям розвиває багато екологів світу й України.

За Ю. Одумом, ефективність використання енергії в екосистемі характеризується співвідношенням E_S/E_B (де E_S — витрата енергії на підтримання життєдіяльності угруповання, E_B — енергія, що міститься у структурі угруповання). Витрати енергії на підтримання життєдіяльності угруповання зростають зі збільшенням біомаси, однак якщо структурні одиниці системи великі, питомі витрати енергії на одиницю біомаси менші.

Природні екосистеми отримують ззовні енергію низької якості (низькоконцентровану) — сонця, вітру, води, яку називають *поновлюваною* ($E_п$). Середньорічне надходження енергії від сонця Q — основна частина поновлюваної енергії — у помірних широтах становить 48 – 61 ТДж/га. Іншою важливою складовою біоенергетичного процесу є енергопотенціал ґрунту ($E_г$), який характеризується кількістю енергії гумусу і мінеральних елементів живлення, зосередженої в ґрунтовому профілі і здатної до трансформації в процесі функціонування екосистеми.

Важливою характеристикою функціонування екосистеми є також її продуктивність, тобто швидкість накопичення органічної речовини. Розрізняють *первинну* і *вторинну* продуктивність. Перша ха-

рактеризує швидкість накопичення органічної речовини рослинами. Її рівні:

- валова первинна (утворена в результаті фотосинтезу);
- суто первинна (валова первинна за винятком витраченої самими рослинами);
- чиста (не спожита тваринами та мікроорганізмами).

Вторинна продуктивність характеризує швидкість накопичення енергії консументами.

Встановлено, що утворена в біосфері органічна речовина може, з одного боку, багаторазово відтворюватись при переході з одного трофічного рівня на інший. Тому кількісний аналіз продуктивного процесу, що ґрунтується на обліку утворення і руйнування органічної речовини, пов'язаний з неминучою помилкою внаслідок урахування однієї й тієї самої речовини.

З іншого боку, енергія, що міститься у первинній органічній речовині, на шляху подальших перетворень тільки використовується, що дає змогу об'єктивно оцінювати інтенсивність і спрямованість продукційного процесу. Тому аналіз енергетичних перетворень у трофічних циклах у сучасній екології посів чільне місце, визначивши подальші шляхи розвитку проблеми біологічної продуктивності.

Очевидно, що тільки на енергетичній основі можливі чітка кількісна оцінка трофічних зв'язків, розрахунок коефіцієнтів використання їжі, аналіз продуктивності агроекосистеми.

За відомими кількісними енергетичними співвідношеннями компонентів агроекосистеми (екосистеми) можна визначити, в яких випадках певна ланка ланцюга живлення або трофічного рівня обмежена енергетичними ресурсами, та в яких — ступінь розвитку цього трофічного рівня за достатньої енергетичної бази обмежується іншими чинниками. Це має першочергове значення для керування екосистемами.

Основним положенням енергетики екосистем є незворотність біоенергетичних процесів. Тому стосовно екосистем (а також ґрунтів) не можна вживати поняття «колообіг енергії», аналогічно то́му, як у біогеохімії та ґрунтознавстві говорити про «колообіг речовини». Єдино правильним тут буде тільки вираз «потік енергії».

Енергія первинної біологічної продукції на шляху подальших перетворень лише використовується. Для поповнення і відновлення біомаси в екосистемі необхідне постійне надходження енергії ззовні, в той час як припливу атомів речовини принципово може й не бути: одні й ті самі атоми можуть багаторазово циркулювати в екосистемі.

Розвиток певного гетеротрофного організму, який разом із його субстратом можна розглядати як енергетично замкнену систему, завжди зумовлює зменшення загального запасу енергії системи. При цьому певна частина її втрачається організмом у вигляді теп-

ла, розсіюючись, що є одним із підтверджень можливості застосування до біологічних процесів другого закону термодинаміки (принципу розсіювання енергії).

Інша частина цієї енергії (в кінцевому підсумку — енергії субстрату) відкладається в тілі організму — продуктах його синтетичної діяльності. Здебільшого відбувається концентрування енергії, тобто збільшення її відносного вмісту в продуктах синтезу порівняно з відносним вмістом у речовині субстрату.

З енергетичного погляду весь життєвий процес в організмі, що нормально росте і розвивається, загалом можна розглядати як процес концентрування частки енергії поживної речовини субстрату за одночасної деградації останнього, що також повністю узгоджується з другим законом термодинаміки.

З огляду на це, розвиток біосфери на Землі з її живою речовиною, атмосферою і ґрунтами також можна розглядати як виникнення грандіозного процесу поступового накопичення активної енергії, здатної перетворюватись у поверхневому шарі планети, і тим самим спрямованого процесу зменшення «виробництва» форм енергії, що не перетворюється в природі.

Життя виникло в хаосгенних частинах Всесвіту на противагу прогресуючому хаотичному середовищу, і воно гальмує перехід концентрованої енергії в енергію розсіяну. Антропогенез екосистем істотно деформує роботу цього універсального природного «енергетичного котла», критичні зміни в роботі якого ми фіксуємо як екологічні прорахунки та екологічні катастрофи.

7.3. Термодинаміка агроекосистеми

Рух енергії в екосистемі описують із залученням поняття «потік енергії». На верхню межу біосфери з космосу надходить потік сонячної енергії 1,38 кВт/м^2. Це так звана «сонячна стала». В ясний день влітку поверхні землі досягає не більш як 67 %, тобто 0,92 кВт/м^2. До атмосферного шару за 1 день у середній смузі надходить 1,25 – 1,67 кДж/см^2 сонячної енергії. Першою концептуальною моделлю потоків енергії в екосистемах була схема трофічних ланцюгів, запропонована В. Шелфордом у 1913 р. Проте кількісних характеристик енергетичних потоків у ній не було. Вперше кількісно оцінив потік енергії в трофічних ланцюгах Р. Ліндеман, дещо згодом Г. Одум. У схемах були описані далеко не всі енергетичні потоки в екосистемі, а переважно тільки між її біотичними елементами. В інших випадках перевагу віддавали дослідженню потоків енергії абіотичних ланцюгів. Було встановлено базову схему радіаційного балансу екосистеми на ландшафтному рівні (рис. 7.3).

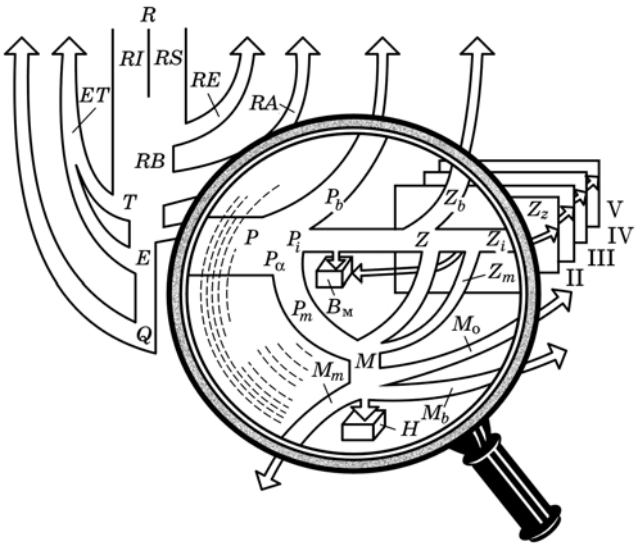


Рис. 7.3. Схема потоку енергії в геосистемі:

R — сумарна, *RI* — пряма, *RS* — розсіяна, *RA* — відбита сонячна радіація; *RE* — ефективне випромінювання; *RB* — радіаційний баланс; *T*, *E* — витрати тепла відповідно на транспірацію та фізичне випаровування; *Q* — турбулентна віддача тепла атмосфері; *P* — енергія для фотосинтезу; P_b — енергія дихання рослин; P_α — енергія чистої первинної продукції; P_m — втрати енергії з опадом; P_i — енергія, накопичена у фітомасі; $B_м$ — енергія, накопичена в прирості біомаси; *Z* — енергія, яку отримують травоїдні тварини (консументи першого трофічного рівня); Z_b — енергія дихання тварин; Z_i — енергія синтезу нової зоомаси; Z_m — енергія, що втрачається із загибеллю тварин; Z_z — енергія, що переходить на наступний трофічний рівень; *M* — енергія відмерлої біомаси; M_b — енергія для дихання сапротрофів; M_o — енергія окиснення відмерлої біомаси; M_m — енергія мінералізації відмерлої біомаси; *H* — енергія, накопичена в гумусі

Щодо агроекосистеми (сільськогосподарського поля), яка функціонує, більш практичною для оцінки, аналізу і прогнозу її термодинаміки на проектно-технологічному рівні є схема екологічного розрізу через європейську частину СНД (рис. 7.4).

Основним джерелом енергії для багатьох процесів в екосистемах є сонячна радіація. Зелені рослини можуть використовувати для синтезу органічних речовин лише незначну частину з отримуваної ними ФАР. Цей показник називають *коефіцієнтом корисної дії фотосинтезу* (позначають $K_ф$). Він визначається низкою чинників, зокрема для сільськогосподарських культур видовою та сортовою належністю, рівнем забезпеченості рослин іншими чинниками життя залежно від ґрунтово-кліматичних умов місцевості та рівня агро-

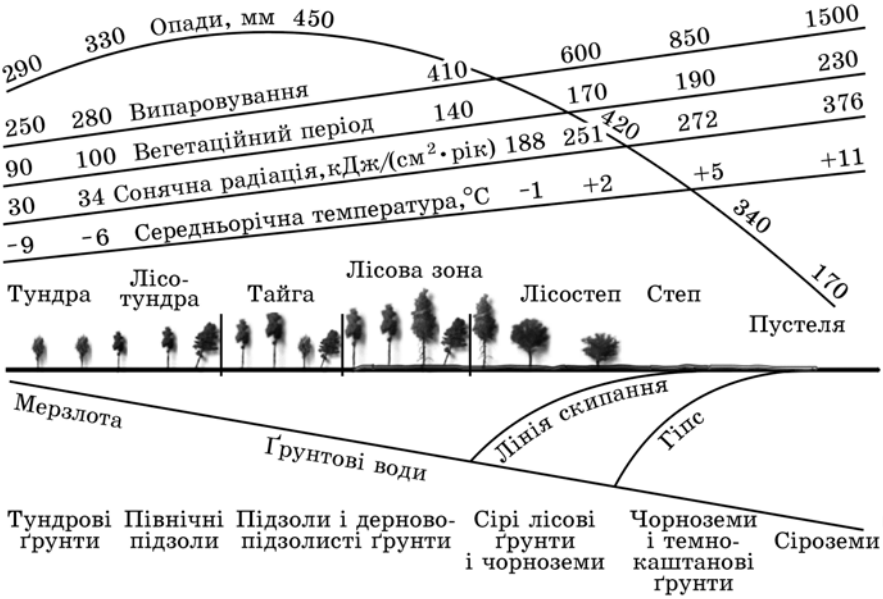


Рис. 7.4. Екологічний профіль європейської частини СНД із півночі на південь
(за Г.М. Висоцьким і В.М. Сукачовим)

техніки. У звичайних посівах значення коефіцієнта корисної дії фотосинтезу становить 0,5 – 1,0 %, у рекордних — 3,0 – 5,0 %.

Поняття «потенційна врожайність» введене для позначення того рівня продуктивності сільськогосподарських культур, якого можна досягти в даній місцевості за створення оптимальних для їх росту і розвитку умов. Потенційну врожайність визначають за формулою

$$У_{\text{п}} = (Q_{\text{ФАР}} \cdot 10/qC)K_{\text{ф}}K_{\text{т}},$$

де $У_{\text{п}}$ — потенційна урожайність основної продукції, ц/га; $Q_{\text{ФАР}}$ — сумарна ФАР, що надійде в посіви за вегетаційний період, МДж/м^2; q — енергетична цінність органічної речовини урожаю, МДж/кг; C — вміст сухої речовини в основній продукції, од.; $K_{\text{ф}}$ — коефіцієнт корисної дії фотосинтезу; $K_{\text{т}}$ — коефіцієнт товарності урожаю.

Значення сумарної ФАР по місяцях наводять в агрокліматичних довідниках. Орієнтовні її значення для основних ґрунтово-кліматичних зон наведено в табл. 5.19.

Основним акумулятором цієї енергії на Землі є її біомаса (табл. 7.5).

Таблиця 7.5. **Енергетична ємність біомаси**

Біомаса	Енергетична ємність, кДж/г	
	сухої маси	сухої маси без зольних елементів
Наземні рослини		
цілі	18,81	19,23
насіння	21,74	22,15
Безхребетні	12,54	22,99
Комахи	22,57	23,83
Хребетні	23,41	26,33
Водорості	20,48	21,32

Жива речовина створює вільну енергію. Рослини і тварини утримують від незворотного розсіювання елементи живлення, й отже, зменшують ентропію сільськогосподарського поля. Тим самим вони гальмують деградацію ґрунтів, спрямовуючи процеси, що в них відбуваються, в русло ґрунтотворення.

Зообіомаса суходолу становить 1 % рослинної біомаси. Це співвідношення основних компонентів біосфери (1 : 99) підтверджує високу вразливість біосфери як глобальної екосистеми та її основного компонента — агросфери (агроекосистеми). Тому наші прорахунки в сільськогосподарському виробництві мають такі катастрофічні екологічні наслідки.

У кінцевому підсумку живим істотам вдається подолати великий тиск навколишнього середовища, спричинений деградацією енергії, і знизити надходження в нього вивільненої, здатної до перетворень енергії. Однак це відбувається не саме по собі, а досягається належним рівнем організації живих істот і цілеспрямованим способом їх функціонування. Та саме з цього боку на них чатують найбільші труднощі.

Крім деградації енергії, важливе також явище, яке можна назвати деградацією

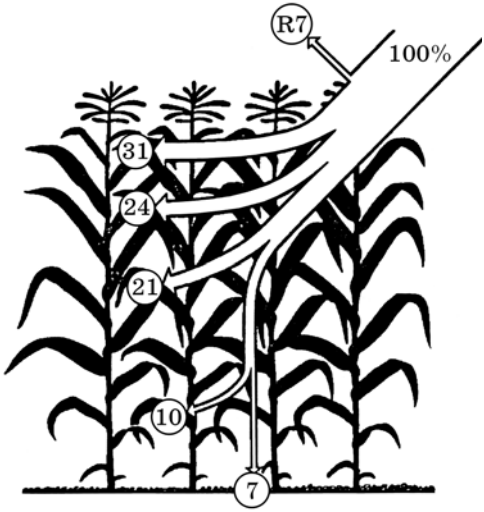


Рис 7.5. Схема розподілу сонячної енергії (ФАР) в агроценозах (за В. Лархером)

організаційної структури матеріальних систем (організаційною деградацією).

В умовах України істотним конденсатором біосферної енергії є ґрунт, зокрема його базова складова — гумус. Проте роль гумусу не вичерпується суто фізичним явищем — накопиченням енергії.

Рослинний блок агроекосистем усіх рівнів має свій досить стабільний механізм трансформації і руху енергії (рис. 7.5).

Енергія в екосистемах передається за рахунок функціонування трофічних ланцюгів (рис. 7.6).

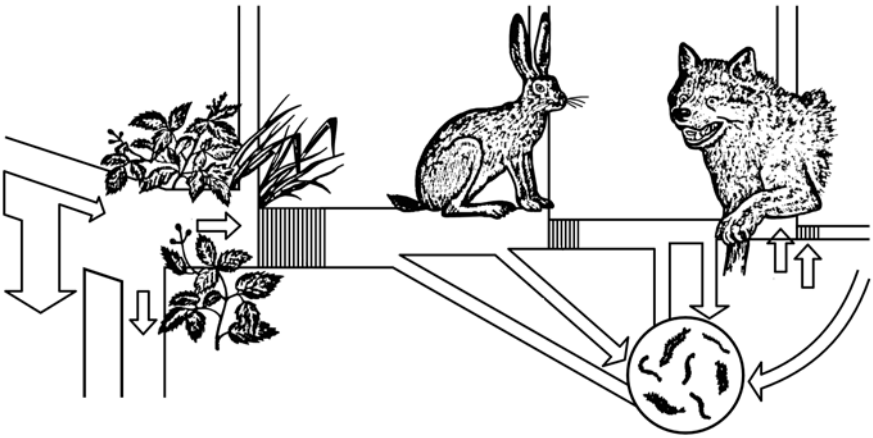


Рис. 7.6. Потік енергії через три рівні простого ланцюга живлення

Трансформація енергії в ланцюгах живлення підлягає закону Ліндемана, згідно з яким з одного трофічного рівня на інший переходить тільки 10 % вихідної кількості енергії.

Графічно-аналітичну реалізацію закону Ліндемана ілюструють екологічні піраміди (рис. 7.7).

Екологічні піраміди — це графічно зображені трофічна структура і трофічна функція екосистеми, основою яких є рівень рослин — продуцентів; наступні ланки утворюють фітофаги, консументи першого, другого і третього порядків.

Розрізняють три основні типи екологічних пірамід:

1) піраміда чисел, що відображає чисельність окремих організмів;

2) піраміда біомаси, що характеризує загальну суху масу або енергетичну цінність;

3) піраміда енергії, що характеризує потік енергії або продуктивність на кожному наступному трофічному рівні.

В умовах природних саморегульованих екосистем ця пропорційність формується без втручання людини. В агроекосистемах будь-якого рівня це слід враховувати на проектному і технологічному рівнях. Методологічною і методичною основою планово-технологічних рішень є класична концепція екологічних пірамід. Так, розвиток тваринництва має спиратись на нижчий щабель піраміди — розвиток кормової бази. Основою розробки національної програми «Продовольство» також мають бути елементи цієї піраміди — маса та енергія.

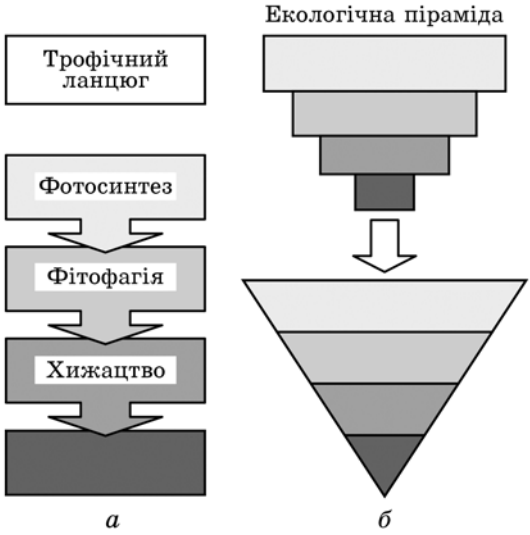


Рис. 7.7. Трофічний ланцюг та екологічна піраміда:
а — трофічні рівні; *б* — ефективність засвоєння енергії

З досвіду відомо, до яких драматичних наслідків у забезпеченості тваринництва кормами та реалізації продовольчих програм може призвести порушення об'єктивних законів природи.

Сьогодні можна вважати, що поліпшення еколого-енергетичного обґрунтування проектів, техніки, технологій, управлінських рішень, науково-технічних новацій і відповідних рекомендацій в агропромисловому комплексі є одним з основних напрямів вирішення застарілих проблем сільськогосподарського виробництва.

7.4. Енергія в інтенсивному землеробстві

Особливості розвитку землеробства на сучасному етапі засвідчують, що підвищення урожайності в 2 – 3 рази супроводжується збільшенням витрат енергії на одиницю продукції в 10 – 50 разів, що дає підстави розглядати виробництво продуктів харчування як енергетичну проблему. Нижче наведено співвідношення витраченої енергії та енергії, отриманої з урожаєм (за Г. Одумом):

Характеристика господарства та його географічне місце	Співвідношення енергій
Підсічно-вогневе землеробство в басейні р. Конго та у Новій Гвінеї	1/65 – 1/20
Вирощування кукурудзи	
із застосуванням добрив у Нігерії	1/10
із застосуванням добрив і сільськогосподарських машин на Філіппінах	1/5
за індустріальними технологіями в США	1/2

Кількісні зміни, які сталися в цій галузі за останнє століття, характеризуються в основному заміною поновлюваних джерел (біохімічної енергії робітників і тяглової худоби) на непоновлювану енергію, в тім числі у вигляді сільськогосподарської техніки, мінеральних добрив, пестицидів тощо.

Енергетичний аналіз у землеробстві — це оцінка витрат непоновлюваної енергії на виробництво продукції та кількості отриманої енергії, вираженої в порівнюваних одиницях. Частку від ділення отриманої з урожаєм енергії на сумарну кількість витраченої називають *коефіцієнтом енергетичної ефективності* $K_{e.e}$. Він дає уявлення про енергетичну ефективність сільськогосподарського виробництва або окремих його ланок.

За сучасних інтенсивних технологій вирощування кукурудзи у США, запланованих на отримання 80 ц/га зерна, загальні витрати енергії у перерахунку на пальне становлять 690 л/га, в тім числі на добрива і гербіциди — 64 – 67 %, на сушіння зерна — 29 – 30, на обробіток ґрунту, сівбу, внесення добрив і пестицидів — 3 – 7 %.

За даними А. Огінського, енергоємність 1 ц зернових одиниць в Україні становить 500 – 700 МДж, що перевищує відповідні показники в таких країнах, як Велика Британія — в 1,9 раза, Франція — в 1,8, Німеччина — в 1,5, США — в 2 рази.

Біоенергетичний ККД знижується не тільки внаслідок підвищення прямих енергетичних витрат на виробництво продуктів харчування, а й через збільшення в раціоні людей продукції тваринного походження, що й доводить закон Ліндемана.

Сучасні сорти і гібриди польових культур забезпечують належну продуктивність тільки на фоні високих норм добрив. Низька їх конкурентоспроможність із бур'янами, недостатня стійкість до шкідників і хвороб, стресових дій навколишнього середовища потребує збільшення енергетичних витрат на меліорацію середовища (внесення добрив, осушення, зрошення тощо).

Загалом інтенсивні сорти розраховані на вищий рівень витрат непоновлюваної енергії, ніж сорти екстенсивного типу. Динамічне зростання енергетичної ціни продуктів харчування з урахуванням невикористання значної частини енергоресурсів, екологічних обме-

жень ставлять раціональне використання енергії в один ряд з найважливішими завданнями сучасного землеробства. Причому цю проблему не слід розуміти вузько, тільки з позиції економії у сфері технічних витрат.

В агропромисловому комплексі, головним виробничим ресурсом якого є ґрунт, структуру енерговитрат можна вдосконалити не тільки регулюванням використання матеріально-технічних ресурсів, а й за рахунок раціональнішого використання потенціалу культурних рослин, мікрокліматичних, ґрунтових умов. Наприклад, накопичення бобовими в процесі симбіотичної фіксації 100 кг азоту рівнозначне збереженню 130 кг пального.

Слід зауважити, що перспективні шляхи підвищення стійкості землеробства і раціонального використання енергії в ньому загалом збігаються. Процеси енерго- і масообміну в агроекосистемі підлягають тим самим фундаментальним законам, за якими функціонує стійка і стабільна природна екосистема. Оскільки від 40 до 80 % фітомаси (сільськогосподарської продукції з акумульованою в ній енергією $E_у$) вилучається з агроекосистеми (рис. 7.8), нормальний цикл колообігу речовин порушується. Виникає небезпека виснаження енергетичного ресурсу агроекосистеми. Для запобігання цьому необхідний допоміжний потік енергії (додаткова, або *антропогенна*, енергія $E_а$), під яким розуміють будь-яке джерело енергії, що зменшує витрати на самопідтримання екосистеми і збільшує частку енергії, здатної перейти в продукцію.

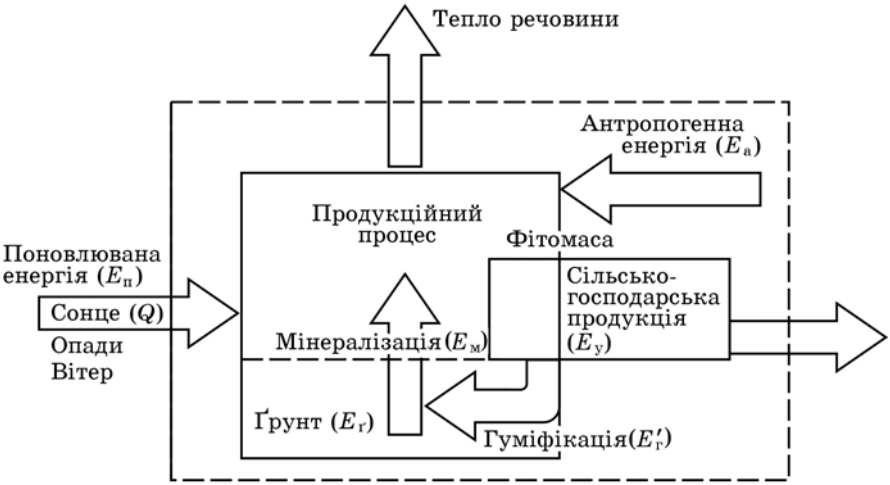


Рис. 7.8. Схема енергообміну в агроекосистемі

Основні статті витрат антропогенної енергії:

1) *прямі* — витрати електричної, теплової енергії і пального безпосередньо в технологічному процесі;

2) *опосередковані* — витрати енергії на предмети і засоби праці (техніку, будівлі, добрива, пестициди, насіння тощо), за допомогою яких здійснюється технологічний процес (синоніми: матеріалізована, уречевлена енергія);

3) витрати енергії *живої праці*.

Різницю між енергією, акумульованою в урожаї сільськогосподарської продукції ($E_у$), та енергією, поверненою в агроекосистему (антропогенною енергією $E_а$), називають *корисною продукцією*.

Теоретичною основою підвищення ефективності використання енергії агроекосистемою є *закон максимізації енергії*, згідно з яким у суперництві з іншими системами виживає та з них, яка найбільшою мірою сприяє надходженню енергії і використовує максимальну її кількість найефективнішим способом. З цією метою система:

- створює накопичувачі високоякісної енергії;
- витрачає частину накопиченої енергії на забезпечення надходження нових порцій (за допомогою механізмів зворотного зв'язку);
- забезпечує колообіг речовин;
- створює механізми регулювання, що підтримують стійкість системи та її здатність пристосовуватись до змінних умов;
- налагоджує з іншими системами обмін для забезпечення потреб в енергії спеціальних видів.

Агроекосистема має регулюватися людиною. Будь-яке підвищення її продуктивності потребує збільшення витрат енергії, в тім числі антропогенної, які йдуть на підтримання енергопотенціалу агроекосистеми або на зміну умов його реалізації.

Потік антропогенної енергії залежить від мети, яку ставить перед собою виробник сільськогосподарської продукції. В основному — це отримання максимального прибутку шляхом зниження енергоємності продукції, що досягається або зниженням енерговитрат за фіксованого рівня продуктивності, або випереджаючим приростом продуктивності щодо приросту енерговитрат. *Перше* завдання вирішується раціональною організацією праці і виробництва, заміною енергоємних операцій на менш енергоємні, *друге* — збільшенням продуктивності системи, яка залежить від біокліматичного потенціалу, родючості ґрунту, соціально-економічних умов.

Реалізація цих завдань визначається екологічною ємністю та екологічною активністю території. *Екологічна ємність* відповідає кількості енергії органічної речовини ґрунту, здатної трансформуватись у процесі функціонування агроекосистеми. *Екологічна активність* характеризується інтенсивністю та обсягом малого біологічного колообігу (МБК) речовин і потоків енергії.

Стратегія розвитку землеробства полягає у забезпеченні і підтриманні максимального рівня енергоємності агроекосистеми за рахунок участі в МБК легкодоступних для трансформації джерел енергії (рослинних решток, коренів).

Максимальна кількість антропогенної енергії, яку можуть трансформувати агроекосистеми без порушення своїх властивостей, в середньому становить 15 ГДж/га, тоді як в Україні її обсяг дорівнює 20 – 25, а при вирощуванні окремих культур — 50 ГДж/га і більше.

Слід мати на увазі, що фактична кількість енергії, яка надходить в агроекосистему (агротехногенне навантаження) може бути більшою за витрати антропогенної енергії, визначені за традиційною методикою, зокрема за рахунок дії на ґрунт техніки.

Агротехногенне навантаження має як позитивні сторони (сприяє формуванню агробіоценозу, створенню оптимальних умов для росту і розвитку культурних рослин), так і негативні (руйнування ґрунтових агрегатів, переущільнення ґрунту). Під час розробки нових технологій вирощування культурних рослин треба збільшувати частку позитивної (корисної) енергії без підвищення при цьому частки енергії, що спричинює негативні наслідки.

Кожна технологія потребує різних витрат енергії. Щоб оцінити доцільність застосування на практиці технологічного процесу чи окремих його прийомів з енергетичного погляду, треба знайти кількісну оцінку їх біоенергетичної ефективності. У 1983 р. вчені ВАСГНІЛ розробили методику біоенергетичного оцінювання технологій виробництва продукції рослинництва. Вона призначена для використання в науково-дослідних установах рослинницького профілю і вищих аграрних навчальних закладах, насамперед при розробці нових технологій з метою рекомендації для впровадження в практику найбільш енергоощадних.

На виробництво продукції рослинництва витрачаються матеріальні, енергетичні і трудові ресурси. Для розрахунку антропогенної енергії, потрібної для отримання тієї чи іншої сільськогосподарської продукції, використовують енергетичні еквіваленти, які відбивають витрати прямої й опосередкованої енергії на одиницю спожитих предметів і засобів праці, а також витрати енергії живої праці за одиницю часу.

Відповідно до специфіки формування енергетичних еквівалентів і з урахуванням одиниць їх виміру треба розрахувати витрати антропогенної енергії (МДж/га) за такими статтями:

Q_1 — витрати енергії, які переносяться основними засобами виробництва, крім сільськогосподарської авіації;

Q_2 — витрати енергії за рахунок застосування сільськогосподарської авіації;

Q_3 — витрати енергії від використання оборотних засобів;

Q_4 — витрати енергії від використання кінного і ручного реманенту;

Q_5 — витрати енергії трудовими ресурсами.

Для розрахунку $Q_1 - Q_5$ використовують дані технологічних проектів вирощування і збирання сільськогосподарських культур і довідкові матеріали. Визначають витрати енергії за технологічними процесами.

Коефіцієнт енергетичної ефективності $K_{\text{е.е}}$ знаходять за відношенням енергії $E_{\text{у}}$, що міститься у вирощеній сільськогосподарській продукції, до кількості ентропогенної енергії $E_{\text{а}}$, витраченої на формування врожаю:

$$K_{\text{е.е}} = \frac{E_{\text{у}}}{E_{\text{а}}} = \frac{100 q_{\text{пр}} У K_{\text{с}}}{E_{\text{а}}},$$

де $q_{\text{пр}}$ — вміст енергії в отриманій продукції, МДж/кг; $У$ — урожайність, ц/га; $K_{\text{с}}$ — коефіцієнт вмісту сухої речовини; $E_{\text{а}}$ — всі енерговитрати для виробництва продукції на 1 га, МДж.

Щоб визначити $E_{\text{а}}$, вдаються до формули

$$E_{\text{а}} = E_{\text{пр}} + E_{\text{р}} + \frac{E_{\text{ж}} + E_{\text{м}} + E_{\text{з}} + E_{\text{т}}}{П_{\text{р.з}}} + E_{\text{т.з}},$$

де $E_{\text{пр}}$ — прямі витрати енергії (паливо, електроенергія), МДж/га; $E_{\text{р}}$ — витрати енергії на виробництво добрив, пестицидів, насіння та інших речовин, МДж/га; $E_{\text{ж}}$ — енерговитрати живої праці, МДж/год; $E_{\text{м}}$, $E_{\text{з}}$, $E_{\text{т}}$ — енергоємність машин, зчеплень та технологічних засобів, МДж/год; $E_{\text{т.з}}$ — енергоємність транспортного засобу (автомобіль + + причіп), МДж/га; $П_{\text{р.з}}$ — продуктивність агрегата, га/год.

Прямі витрати енергії визначають за залежністю

$$E_{\text{пр}} = H_{\text{п}} A_{\text{п}} + H_{\text{е}} K_{\text{е}} + H_{\text{т}} K_{\text{к}},$$

де $H_{\text{п}}$, $H_{\text{е}}$, $H_{\text{т}}$ — витрати палива (кг/га), електроенергії (кВт·год/га) і тепла (ккал/га); $A_{\text{п}}$ — теплоємність палива, МДж/кг; $K_{\text{е}} = 3{,}6$ — коефіцієнт перерахунку кіловат-годин у мегаджоулі; $K_{\text{к}} = 0{,}00419$ — коефіцієнт перерахунку кілокалорій у мегаджоулі.

Витрати електроенергії $H_{\text{е}}$ на одиницю площі за врожайності культури, кг/га:

$$H_{\text{е}} = P_{\text{е}} У,$$

де $P_{\text{е}}$ — витрати електроенергії на переробку продукції, підготовку насіння до висіву і внесення добрив, кВт·год/кг.

Аналогічно визначають витрати теплової енергії $H_{\text{т}}$ на одиницю площі, МДж/га:

$$H_{\text{т}} = P_{\text{т}} У,$$

де $P_{\text{т}}$ — витрати теплової енергії на переробку продукції, підготовку насіння, добрив і пестицидів, МДж/кг.

Матеріалізовані витрати енергії $E_{\text{р}}$ (МДж/га) на добрива, пестициди, воду та інші речовини, що використовуються в технологіях виробництва і збирання сільськогосподарської продукції, визначають з урахуванням норм та терміну дії речовини:

$$E_{\text{р}} = \frac{A_{\text{р}} H_{\text{р}}}{T_{\text{р}}},$$

де $A_{\text{р}}$ — енергетичний еквівалент (витрати енергії на виробництво одиниці речовини), МДж/кг; $H_{\text{р}}$ — норма внесення речовини на одиницю площі, кг/га; $T_{\text{р}}$ — термін дії речовини (мінеральних добрив, пестицидів — 1 рік, органічних добрив — 3 роки).

Енерговитрати живої праці $E_{\text{ж}}$ обслуговуючого персоналу, який бере участь у технологічному процесі (МДж/год), визначають на основі норм ФАО, які передбачають градацію праці на дуже тяжку, тяжку, середню, легку і дуже легку:

$$E_{\text{ж}} = П_{\text{о}} A_{\text{о}} + П_{\text{з}} A_{\text{з}},$$

де $П_{\text{о}}$, $П_{\text{з}}$ — число відповідно основних (трактористи, комбайнери та ін.) і залучених (сівачі, вантажники тощо) працівників, осіб; $A_{\text{о}}$, $A_{\text{з}}$ — енергетичні еквіваленти витрат живої праці відповідно основних і залучених працівників, МДж/год.

Засоби механізації (виробництва) — машини, зчеплення, трактори та інші частково переносять на створену продукцію енергію, витрачену на виробництво цих засобів. В енергоємності машини $E_{\text{м}}$, що припадає на одну годину роботи, враховано також витрати на реновацію, капітальний та поточний ремонти і технічне обслуговування.

Визначають $E_{\text{м}}$ ($E_{\text{з}}$, $E_{\text{т}}$) за формулою, МДж/год:

$$E_{\text{м}}(E_{\text{з}}, E_{\text{т}}) = \frac{A_{\text{м}} M_{\text{м}}}{100}\left(\frac{Ф_{\text{м}}}{T_{\text{н.м}}} + \frac{Ф_{\text{м.к}} + Ф_{\text{м.п}}}{T_{\text{з.м}}}\right),$$

де $A_м$ — енергетичний еквівалент машини, МДж/кг; $M_м$ — маса машини, кг; $Ф_м$, $Ф_{м.к}$, $Ф_{м.п}$ — відрахування відповідно на реновацію, капітальний і поточний ремонти машини (зчеплення, трактора), %; $T_{н.м}$, $T_{з.м}$ — відповідно нормативна і зональна зайнятість машини, год/рік.

Треба мати на увазі, що складні машини і трактори підлягають капітальному ремонту, а зчіпки, прості машини та знаряддя потребують тільки поточного ремонту і технічного обслуговування.

Енергоємність транспортного засобу (автомобіль + причіп) $E_{т.з}$, що перевозить сільськогосподарську продукцію, обчислюють за виразом, МДж/га:

$$E_{т.з} = \frac{A_а M_а B У (Ф_{а.р} + Ф_{а.к} + Ф_{а.а})}{5 \cdot 10^4 Г_а},$$

де $A_а$ — енергетичний еквівалент автомобіля (або причепа), МДж/кг; $M_а$ — маса автомобіля (або причепа), кг; B — відстань перевезення вантажу, км; $У$ — урожайність, кг/га; $Ф_{а.р}$, $Ф_{а.к}$, $Ф_{а.а}$ — відрахування відповідно на реновацію, капітальний ремонт та амортизацію на 1000 км пробігу, %; $Г_а$ — вантажопідйомність автомобіля, кг.

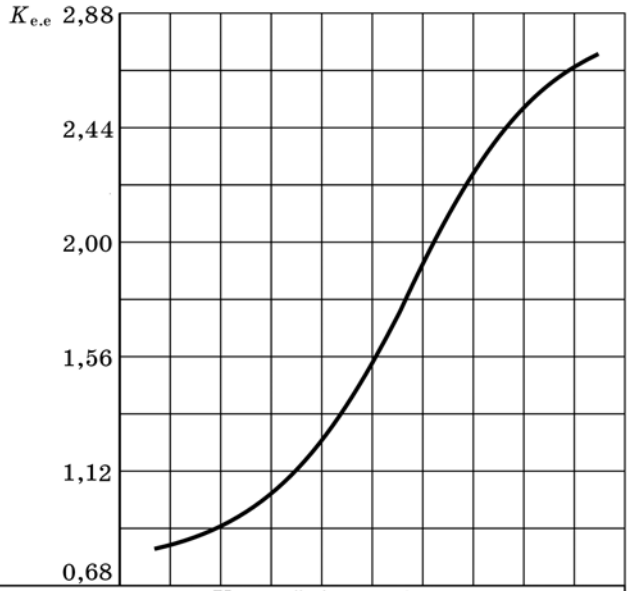
Норму витрати палива автомобілем $H_а$ на одиницю маси перевезеної продукції знаходять за формулою, кг/т:

$$H_а = \left(H_{л.а} + \frac{H_{л.а} K_а}{100} \right) \frac{2B\gamma_п}{100 Г_а},$$

де $H_{л.а}$ — лінійна норма витрати палива на 100 км пробігу, л; $K_а$ — збільшення норми витрати палива залежно від категорії шляху чи інших чинників, %; B — відстань перевезення продукції, км; $\gamma_п$ — густина палива (для бензину $\gamma_п = 0{,}72$ кг/л, для дизельного палива $\gamma_п = 0{,}82$ кг/л).

З енергетичного погляду технологію вважають ефективною, якщо за планового рівня урожайності сільськогосподарської культури забезпечується умова $E_у > E_а$; $K_{е.е} > 1$. Припустимо також вважати технологію ефективною, якщо $K_{е.е1} < 1$, а $K_{е.е2} > 1$ (відповідно з урахуванням енергії, що міститься в урожаї основної та господарсько цінної (основної і побічної) продукції.

Динаміку $K_{е.е}$ залежно від урожайності деяких сільськогосподарських культур ілюструє рис. 7.9.



Урожайність, ц/га										
Озима пшениця	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Цукрові буряки	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750
Картопля	50	100	150	200	250	300	350			

Рис. 7.9. Динаміка коефіцієнта енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур залежно від їх урожайності
(за А.Т. Кардашовим)

Коефіцієнт енергетичної ефективності визначають тільки для тих культур, продукцію яких можна оцінити харчовими джоулями, а для технічних культур знаходять енергоємність продукції — витрати енергії в розрахунку на одиницю маси продукції.

Для пошуку найбільш енергозаощадних рішень не слід обмежуватись біоенергетичною оцінкою тільки одного проекту, процесу, технології. Доцільно розраховувати біоенергетичні показники (витрати сукупної енергії та енергії, накопиченої урожаєм) кількох технологій вирощування сільськогосподарських культур, які різняться за номенклатурою основних і оборотних засобів, й оцінювати кожну з них за біологічною продуктивністю. Такий підхід дає змогу рекомендувати для практики найоптимальнішу з енергетичного погляду технологію. Крім того, бажано аналізувати складові сукупної енергії, яка витрачається на виробництво певної рослинницької

продукції за конкретною енергоощадною технологією з метою пошуку додаткових резервів енергозбереження.

Еколого-технологічне оцінювання енергетичного балансу вирощування сільськогосподарських культур

Як уже зазначалось, енергетичне оцінювання здійснюють за співвідношенням енергії, акумульованої врожаєм, і сукупних витрат енергоресурсів на вирощування сільськогосподарських культур. Його величину апроксимують коефіцієнтом енергетичної ефективності $K_{\text{е.е}}$.

Технологію вирощування сільськогосподарських культур можна вважати енергоощадною, якщо вона забезпечує дотримання умови $K_{\text{е.е}} > 1$.

Такий підхід до енергетичного оцінювання технологій виробництва продукції рослинництва через свою відносну простоту отримав значне поширення. Однак останнім часом учені привертають увагу до необхідності вдосконалення методики енергетичного оцінювання ефективності землеробства. Вважають, що цю проблему треба поділити на дві частини — оцінювання ефективності виробництва продукції й ефективності функціонування агроекосистеми. За наведеною вище методикою за співвідношенням отриманої енергії на виході ($E_{\text{у}}$) і витрат її на вході ($E_{\text{а}}$) можна вирішити *перше завдання*, до того ж лише частково, оскільки вона не враховує такі важливі складові біоенергетичного процесу, як сонячна енергія та енергопотенціал ґрунту на вході та його зміна на виході.

Критерієм ґрунтовнішого оцінювання ефективності виробництва продукції може бути рівень продуктивності в розрахунку на одиницю *сукупного енергетичного ресурсу* агроекосистеми, який характеризує агроекологічний потенціал території, — сума енергії ФАР, енергопотенціал ґрунту (запас енергії в ґрунті $E_{\text{г}}$), антропогенна енергія, волога тощо. Розрахунки виконують за формулою

$$K_{\text{е.е}} = \frac{E_{\text{у}}}{E_{\text{г}} + Q_{\text{ФАР}} + E_{\text{а}}},$$

де $E_{\text{у}}$ — енергія, акумульована в урожаї, МДж/га; $E_{\text{г}}$ — запас енергії в ґрунті, МДж/га; $Q_{\text{ФАР}}$ — сумарна ФАР за вегетаційний період, МДж/га; $E_{\text{а}}$ — витрати антропогенної енергії, МДж/га.

Така методика розрахунку доцільна за порівняльного оцінювання ефективності виробництва в різних ґрунтово-кліматичних умовах. Уявлення про значення $E_{\text{г}}$ та $Q_{\text{ФАР}}$ дають дані табл. 5.19 і 7.4.

Проміжним варіантом є визначення біологічного коефіцієнта використання енергії $\eta_{\text{біол}}$:

$$\eta_{\text{біол}} = \frac{E_{\text{у}}}{Q_{\text{ФАР}} + E_{\text{а}}}.$$

Друге завдання — оцінювання ефективності функціонування агроекосистеми можна вирішити за врахування витрат на приведення її у вихідний стан, тобто на відновлення родючості ґрунту.

Коефіцієнт енерговіддачі запропоновано визначати як відношення накопиченої в продукції енергії до витрат антропогенної енергії на виробництво продукції та відновлення родючості ґрунту.

Цей за своєю суттю уточнений, модифікований коефіцієнт енергетичної ефективності розраховують за формулою

$$K'_{\text{e.e}} = \frac{E_{\text{у}}}{E_{\text{а}} + E'_{\text{а}}},$$

де $E'_{\text{а}}$ — витрати антропогенної енергії на відновлення родючості ґрунту та підтримання його енергопотенціалу, МДж/га.

Головним чинником зміни родючості ґрунту є баланс гумусу, тому витрати антропогенної енергії на її відновлення $E'_{\text{а}}$ визначаються величиною балансу гумусу.

Щорічні втрати гумусу з орних земель України тільки внаслідок водної ерозії досягають 23,6 млн т, що еквівалентно $5{,}2 \cdot 10^{11}$ МДж енергії або 30 млн т зерна пшениці. Сільськогосподарські культури істотно різняться за ґрунтозахисним ефектом.

Для розрахунку балансу гумусу скористаємось, наприклад, методикою Всесоюзного науково-дослідного і проектно-технологічного інституту органічних добрив (ВНДПТІОД), згідно з якою коефіцієнт ерозійної небезпечності багаторічних трав становить 0,08, озимих — 0,30, ярих зернових і однорічних трав — 0,50, просапних культур — 0,85, чистого пару — 1,0. Щорічні втрати гумусу, визначені за втратами азоту, на полях зі схилом до 1° під просапними культурами дорівнюють 0,1 – 0,2 т/га, під ярими зерновими і зернобобовими — 0,06 – 0,1, під озимими зерновими — 0,04 – 0,06 т/га, під багаторічними травами — майже не відмічаються. Зі збільшенням величини схилу до 1 – 2 ° втрати зростають вдвічі, до 2 – 4 ° — втричі.

Істотною причиною втрат гумусу є мінералізація (внутрішньоґрунтове окиснення), інтенсивність якої залежить від типу ґрунту, запасу гумусу, удобрення та інших чинників. В орному шарі чорноземів вона щорічно становить 0,4 – 0,5 %, сірих лісових ґрунтів — 0,8 – 1,0 %; у піщаних і супіщаних ґрунтах темпи мінералізації ви-

щі, ніж у суглинкових, а під просапними культурами — в 2 – 3 рази вищі, ніж під культурами суцільної сівби.

У табл. 7.6 наведено дані, які дають уявлення про середньорічні втрати гумусу з орних земель України протягом останніх 30 років по областях нашої держави.

Таблиця 7.6. **Динаміка інтенсивності втрат гумусу з орних земель України**

Область	Втрата гумусу, т/га	
	За 30 років	У середньому за рік
Волинська	0	0
Запорізька	0	0
Чернігівська	0	0
Івано-Франківська	0,4	0
Рівненська	3,4	0,1
Львівська	3,4	0,1
Одеська	3,6	0,1
Хмельницька	3,6	0,1
Тернопільська	3,6	0,1
Херсонська	11,4	0,4
Автономна Республіка Крим	11,4	0,4
Вінницька	10,5	0,4
Черкаська	10,8	0,4
Кіровоградська	14,4	0,5
Донецька	14,4	0,5
Закарпатська	18,5	0,6
Київська	17,0	0,6
Луганська	18,0	0,6
Харківська	25,2	0,8
Житомирська	27,2	0,9
Миколаївська	28,8	1,0

Втрати гумусу особливо небезпечні в тих регіонах, де його запаси порівняно невеликі (зона Полісся).

Витрати антропогенної енергії на відновлення запасу гумусу $E'_{\text{а}}$ з прийнятною точністю дорівнюють енергоємності робіт із заготівлі і внесення відповідної кількості органічних добрив. За потреби враховують баланс азоту, фосфору та калію, визначають потреби в мінеральних добривах, енерговитрати на відтворення поживного режиму ґрунту, а також на усунення підкислювальної дії добрив вапнуванням.

Визначення коефіцієнта енергетичної ефективності з урахуванням зміни енергопотенціалу ґрунту та витрат на його відновлення дає змогу об'єктивніше оцінити результати виробничої діяльності. У табл. 7.7 наведено результати уточненої оцінки технологій вирощування основних сільськогосподарських культур.

Таблиця 7.7. **Енергетична оцінка витрат, пов'язаних із вирощуванням сільськогосподарських культур (зона Лісостепу)**

Культура, урожайність основної / побічної продукції, ц/га	Енергія, акумульована в урожаї, 10^{10} Дж/га		Витрати антропогенної енергії на вирощування, 10^{10} Дж/га	Витрати на компенсацію втрат гумусу, 10^{10} Дж/га	Сумарні витрати енергії, 10^{10} Дж/га	Коефіцієнт енергетичної ефективності			
						без урахування балансу гумусу		з урахуванням витрат на компенсацію втрат гумусу	
	основної продукції	господарської цінної продукції				$K_{e.e1}$	$K_{e.e2}$	$K'_{e.e1}$	$K'_{e.e2}$
Озима пшениця, 50/60	8,23	14,16	4,57*	1,76	6,33	1,80	3,10	1,30	2,24
Ярий ячмінь, 37/39	6,09	10,17	1,97*	1,76	3,73	3,09	5,16	1,63	2,73
Гречка, 20/26	3,34	5,42	1,01*	2,20	4,11	1,75	2,84	0,81	1,32
Кукурудза зерно, 50/100	7,57	18,17	3,90*	2,86	6,76	1,94	4,46	1,12	2,60
силос, 250	10,24	10,24	3,73*	2,86	6,59	2,75	2,75	1,55	1,55
Цукрові буряки, 350/200	15,99	19,34	5,32*	3,52	8,84	3,01	3,64	1,80	2,19
Конюшина (сіно), 60	2,26	2,26	0,50	0	0,50	4,52	4,52	4,52	4,52
Однорічні трави (сіно), 50	1,64	1,64	1,55	0,44	1,99	1,06	1,06	0,82	0,82
Льон-довгунець волокно, 10/5	1,60	3,49	2,22	1,76	3,98	0,72	1,57	0,40	0,88
Картопля, 300	10,98	10,98	7,75	4,44	12,15	1,42	1,42	0,90	0,90
Зернові бобові (після проса), 30/30	5,31	8,31	2,82	0,44	3,26	1,88	2,95	1,63	2,55
Просо (після кукурудзи на силос), 40/48	6,78	11,58	2,24	2,20	4,44	3,03	5,17	1,52	2,61

* За даними О.К. Медведовського, П.І. Іваненка (1988).

Згідно з даними цієї таблиці, наднормативні витрати енергії, пов'язані з потребою компенсації втрат гумусу, здебільшого ста-

новлять 50 – 100 % енергетичних витрат на вирощування культур. У результаті коефіцієнт енергетичної ефективності значно нижчий, ніж розрахований за традиційною методикою. Найнижчим він виявився (в розрахунку на основну продукцію) для льонудовгунця, гречки, однорічних трав, картоплі, кукурудзи (зерно), озимої пшениці, найвищим — для конюшини, зернових бобових, ярого ячменю. Таких самих висновків за незначними винятками можна дійти і при аналізі енергетичної ефективності виробництва не тільки основної, а й побічної господарсько цінної продукції. Умовно всі культури можна поділити на «енергетично дешеві» й «енергетично дорогі». Співвідношенням посівних площ під ними у сівозміні визначається *ступінь енергетичної збалансованості* агроекосистеми.

З метою оцінки енергетичної ефективності виробництва продукції рослинництва в різних ґрунтово-кліматичних зонах було проведено розрахунки за вихідними даними двох типових господарств Лісостепу і Полісся (табл. 7.8 і 7.9).

Таблиця 7.8. **Енергетична оцінка сівозміни КСП ім. Цюрупи Попільнянського р-ну Житомирської обл.**
(Лісостеп, ґрунт — чорнозем типовий малогумусний середньосуглинковий; 1998 р.)

Культура	Коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням дотації на компенсацію втрат гумусу	
	$K'_{e.e1}$	$K''_{e.e2}$
Конюшина	4,52	4,52
Озима пшениця	1,30	2,24
Цукрові буряки	1,80	2,19
Кукурудза (зерно)	1,12	2,60
Горох	1,63	2,55
Озима пшениця	1,30	2,24
Цукрові буряки	1,80	2,19
Кукурудза (силос)	1,55	1,55
Ярий ячмінь з підсівом конюшини	1,63	2,73
Усереднено по сівозміні	1,85	2,53

Згідно з даними табл. 7.8 і 7.9, коефіцієнт енергетичної ефективності в сівозміні Полісся помітно нижчий, ніж у сівозміні Лісостепу. Це можна віднести на рахунок низької продуктивності сільськогосподарського поля, інтенсивнішої мінералізації гумусу і, відповідно, більшої енергоємності компенсаційних заходів, обмежених можливостей вирощування «енергетично дешевих» культур.

Таблиця 7.9. **Енергетична оцінка сівозміни ПКСП «Зоря» Володарськ-Волинського р-ну Житомирської обл.**
(Полісся, ґрунт дерново-середньопідзолистий глеюватий супіщаний; 1998 р.)

Культура	Коефіцієнт енергетичної ефективності з урахуванням дотації на компенсацію втрат гумусу	
	$K'_{e.e1}$	$K'_{e.e2}$
Багаторічні трави	3,39	3,39
Озима пшениця	0,98	1,68
Льон-довгунець	0,40	0,88
Картопля	0,90	0,90
Зернові бобові	1,47	2,30
Кукурудза (силос)	1,16	1,16
Ярі зернові з підсівом багаторічних трав	1,22	2,05
Усереднено по сівозміні	1,36	1,77

З метою зниження енергоємності, а отже, і собівартості сільськогосподарської продукції доцільно не тільки вдосконалювати інтенсивні технології, а й коригувати сівозміни у напрямі насичення рослинництва «енергетично дешевими» культурами.

Енергетичні підходи як більш об'єктивні треба застосовувати при комплексному аналізі всіх рівнів і ланок АПК України, техніко-економічному обґрунтуванні кормовиробництва.

Коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування сільськогосподарських культур має стати окремим критерієм статистичної звітності підприємств АПК незалежно від форм власності.

Цей показник у першому наближенні відповідає рівню рентабельності вирощування тієї чи іншої культури. Якщо $K_{e.e} > 1$, то технологія вирощування відповідної сільськогосподарської культури є енергозберігаючою, а рівень її врожайності забезпечує рентабельність цієї ланки рослинництва.

За сучасних умов особливої актуальності набуває визначення окупності в АПК 1 кг пального врожаєм відповідної сільськогосподарської культури. Значення цього показника часто перевищує науково і технічно обґрунтований зональний рівень. Проблема потребує вирішення на нормативному рівні.

Заслуговує на увагу розробка планів-графіків річної потреби в пальному на рівні окремого господарства, району, області на сільськогосподарський рік (рис. 7.10).

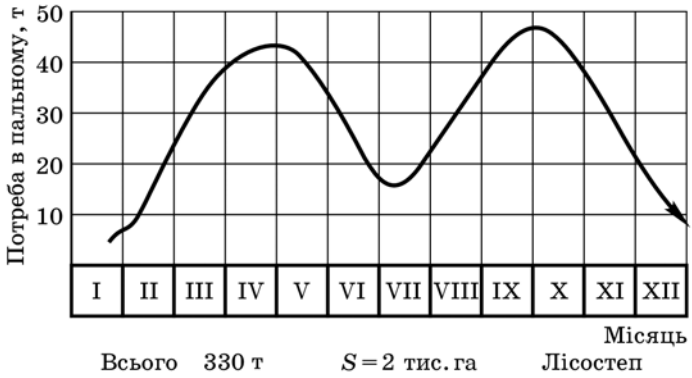


Рис. 7.10. План-графік річної потреби в пальному на сільськогосподарський рік

Енергетична оцінка обробітку ґрунту

Нині сільськогосподарське виробництво є одним з основних споживачів нафтопродуктів — близько 35 % загального обсягу. Зокрема, бензину в світі споживається 310, а в Україні — 4,5 млн т, дизельного палива — відповідно 314 і 7, мазуту — 318 і 4,8 млн т.

Дані щодо витрат пального (кг/га) на обробіток ґрунту за оптимального комплектування агрегатів наведено нижче.

Технологічний процес	Витрата пального, кг/га	Технологічний процес	Витрата пального, кг/га
Оранка, см		Міжрядний обробіток кукурудзи	
20 – 22	14 – 16	1-й	3,10 – 4,80
25 – 27	17 – 19	2-й і 3-й	2,70 – 4,80
Суцільна культивація, см		Проріджування сходів цукрових буряків	4,20 – 4,70
6 – 8	2,5 – 3,5	Розпушування міжрядь цукрових буряків	2,80 – 4,70
8 – 10	3,5 – 4,1	Міжрядний обробіток картоплі	
Коткування посівів	1,1 – 3,8	1-й	4,90 – 6,80
Боронування посівів		2-й	3,90 – 6,20
до появи сходів	1,07 – 1,73	3-й і 4-й	4,90 – 5,90
після появи сходів	1,24 – 2,00		

Оскільки енергетичний еквівалент нафтопродуктів у середньому становить 53 МДж/кг, в умовах енергетичної кризи набуває великої актуальності чітка калькуляція витрат пального і мастил.

На основі досліджень Я.С. Гукова розглянемо сучасний стан проблеми.

В останні роки в Україні набули великого поширення такі способи обробітку ґрунту (СОГ) (рис. 7.11):

1) розпушування ґрунту з перевертанням скиби на глибину 22 – 27 см (оранка);

2) суцільне розпушування ґрунту без перевертання скиби на глибину 22 – 27 см;

3) смугове розпушування ґрунту без перевертання скиби на глибину 25 – 40 см;

4) суцільне мілке розпушування верхнього шару ґрунту на 5 – 20 см з поглибленням нижнього до 40 см;

5) суцільне мілке розпушування верхнього шару ґрунту на 5 – 20 см.

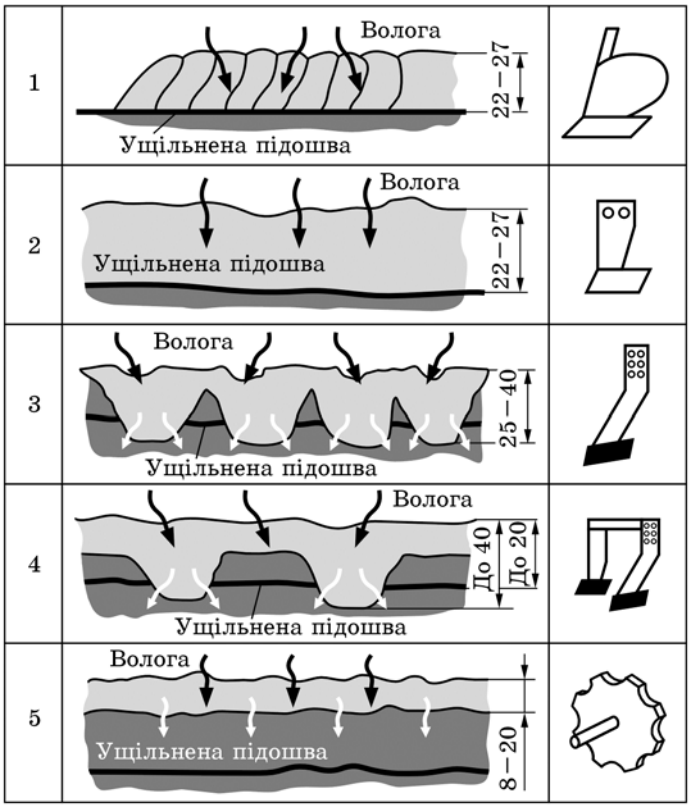


Рис. 7.11. Способи обробітку ґрунту (СОГ), що застосовуються в Україні (за О.Г. Тараріко)

Як правило, ці способи розпушування здійснюються такими знаряддями: СОГ 1 — плугом ПЛН-5-35, СОГ 2 — плоскорізом-глибокорозпушувачем ПГ-35, СОГ 3 та СОГ 4 — плугом-щілювачем ПЩН-2,5, СОГ 5 — бороною дисковою важкою БДВ-6. Усі знаряддя агрегатуються з трактором Т-150 К.

Кожен із наведених СОГ має певну специфіку застосування і властиві їм переваги і недоліки з погляду користувача, тому недоліки способу в одній ситуації можуть бути перевагами в іншій. Наприклад, загортання у ґрунт післяжнивних решток і бур'янів під час оранки вважають перевагою першого способу. В разі розпушування ґрунту без перевертання скиби (СОГ 2,3,4) збереження післяжнивних решток на поверхні ґрунту з метою захисту його від ерозійних процесів є перевагою цих способів.

Серед найістотніших недоліків традиційної оранки (СОГ 1) треба назвати слабку стійкість обробленої (зораної) поверхні ґрунту проти ерозії (водної, вітрової, механічної), що призводить до невідновлюваних втрат родючого шару ґрунту, утворення ущільненої підошви в підорному шарі, яка ускладнює проникнення вологи в нижчі шари й відчутно гальмує ріст і розвиток кореневої системи рослин.

У пошуках шляхів підвищення протиерозійної стійкості ґрунту зупинились на способі суцільного розпушування ґрунту на глибину оранки без перевертання скиби (СОГ 2), який істотно уповільнює водну, вітрову й механічну ерозію, але також створює ущільнену підошву. Крім того, розпушений ґрунт легко піддається наступному ущільненню сільськогосподарською технікою. Для підвищення протиерозійної стійкості ґрунту почали застосовувати його розпушування, яке не повністю підрізає корені рослин, не забезпечує рівномірного кришіння орного шару ґрунту. Процес розпушування — відносно енергоємний. СОГ 4 за всіма показниками переважає СОГ 3 й усуває недоліки цього способу, сприяє 100%-му підрізанню коренів бур'янів у верхньому шарі, рівномірному кришінню скиби, руйнуванню ущільненої підошви та зниженню енергоємності процесу внаслідок збільшення відстані між розпушеними смугами. СОГ 5 поширений в Україні через високу продуктивність агрегата, низьку енергоємність і високу технологічну надійність на перезволожених і пересушених ґрунтах. Водночас СОГ 5 зберігає й деякі недоліки СОГ 1 (утворення підошви, яка знижує стійкість ґрунту до ерозії) і додає свої: розпилює структуру, збільшує щільність і твердість верхнього шару ґрунту за період вегетації культур.

Орієнтовну усереднену оцінку рівнів застосування кожного способу обробітку ґрунту в Україні наведено на рис. 7.12. Із діаграм видно, що найбільш поширена (55 %) оранка СОГ 1, на другому місці (25 %) — мілке розпушування ґрунту важкими дисковими боронами СОГ 5, на решту способів припадає близько 20 %.

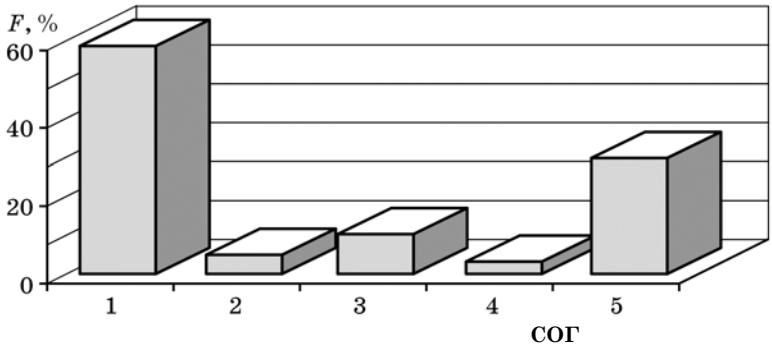


Рис. 7.12. Орієнтовна усереднена оцінка рівнів застосування СОГ в Україні (за Я.С. Гуковим)

Проаналізувавши дані еколого-технологічної оцінки системи обробітку ґрунту, наведені в табл. 7.10, можна дійти висновку, що рівні їх ефективності не збігаються з рівнями застосування. Найпоширенішою є оранка СОГ 2, що має найвищу енергоємність (760 МДж/га), найнижчу продуктивність роботи агрегата (1,2 га/год), дає найвищу гребенистість поверхні обробленого поля (8,3 см) і найбільший змив ґрунту (7,3 м^3/га).

Таблиця 7.10. **Експлуатаційні та еколого-технологічні показники СОГ** (за О.Г. Тараріко)

Показник	СОГ 1	СОГ 2	СОГ 3	СОГ 4	СОГ 5
Енергоємність основного обробітку ґрунту під озиму пшеницю, МДж/га	760	768	615	391	240
Продуктивність агрегата за 1 год основного часу, га	1,2	1,8	1,6	1,9	4,9
Середнє квадратичне відхилення поверхні обробленого поля, см	8,3	5,4	4,7	3,7	4,5
Ступінь підрізання коренів бур'янів, %	100	100	80	100	75
Змив ґрунту, м^3/га	7,3	1,1	1	0,7	5,1

Досить поширеним є СОГ 5, тобто обробіток важкими дисковими боронами на 5 – 20 см, що має найменшу енергоємність (240 МДж/га) і найвищу продуктивність роботи агрегата (4,9 га/год). Інші показники є проміжними між найбільшим і найменшим значеннями.

Мало поширений СОГ 4. Порівняно із СОГ 1 він характеризується вдвічі меншою енергоємністю процесу (391 МДж/га), на 50 – 60 % більшою продуктивністю роботи агрегата, найкращою вирівняністю по-

верхні обробленого поля й найнижчим рівнем змиву ґрунту (у 10 разів нижчий, ніж за оранки). Його застосування може бути виправданим за урожайності вирощуваних культур не нижчої, ніж за інших СОГ.

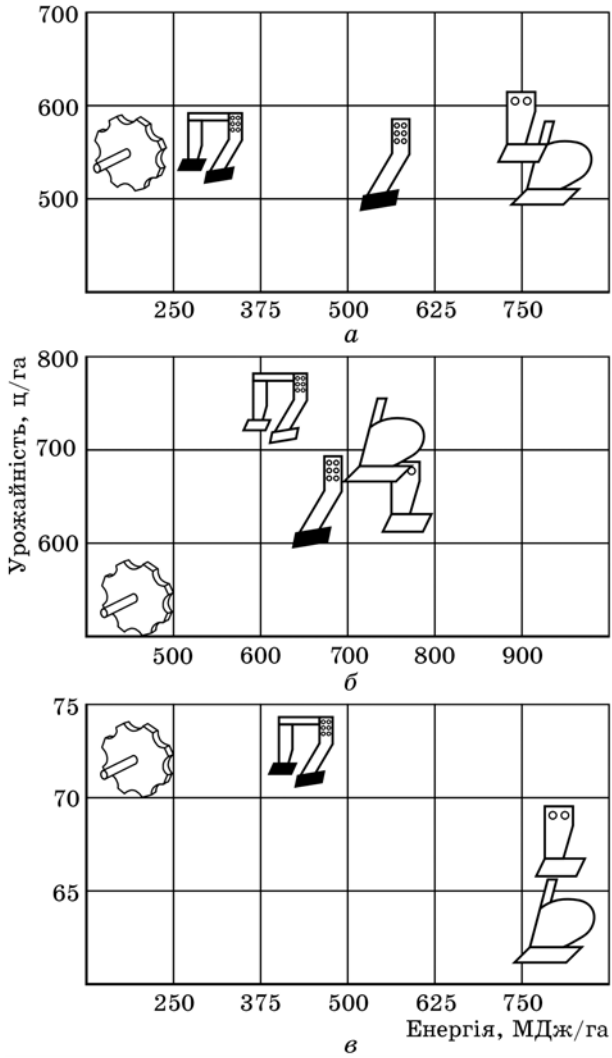


Рис. 7.13. Урожайність пшениці (*а*), кукурудзи на силос (*б*) та буряків (*в*) залежно від СОГ та витрат енергії (за Я.С. Гуковим)

Аналізом даних доведено, що при застосуванні СОГ 1 під озиму пшеницю витрати енергії втричі більші, а врожайність майже на 10 ц/га менша порівняно із СОГ 5. Найвища урожайність (73 ц/га) і наполовину менші витрати енергії порівняно із СОГ 1 в разі застосування СОГ 4.

Урожайність цукрових буряків за всіма варіантама різнилася в межах похибки досліду і становила близько 550 ц/га. Проте за СОГ 4 і СОГ 5 енергії було витрачено майже втричі менше, ніж за СОГ 1 і СОГ 2. Отже, і кінцеві результати були не на користь поширення способів розпушування ґрунту з перевертанням скиби (рис. 7.13).

Кукурудза на силос мала найвищу урожайність за СОГ 4 за нижчих порівняно із СОГ 1 витрат енергії (на 23 %). Найменшими були витрати енергії в разі СОГ 5, але й урожайність при цьому на 30 % менша, ніж за СОГ 4.

Звичайно, неправомірно досліджувати способи обробітку ґрунту в певних, навіть типових ґрунтово-кліматичних умовах окремої зони і давати оцінку доцільності (ефективності) застосування їх на всій ґрунтово-кліматичній розмаїтості території України. Процес прийняття рішення про застосування того чи іншого СОГ, а отже, і відповідної технології підготовки ґрунту під дану культуру залежить від багатьох чинників, які зумовлюються конкретною ситуацією в кожній окремій господарській одиниці.

Обґрунтоване рішення можливе лише на основі об'єктивної оперативної інформації про стан кореневмісного шару ґрунту конкретного поля (щільність, вологість, кількість насіння бур'янів по шарах тощо), про можливості відповідної ґрунтообробної техніки, її наявність, стан, тобто враховуючи економічні чинники.

Наведені вище перспективні СОГ відомі багатьом виробникам. Протягом останнього десятиліття отримано чимало результатів на підтвердження ефективності їх застосування. Тому широке впровадження цих способів є однією з найважливіших умов прискорення прогресу сільськогосподарського виробництва в Україні.

Вплив селекції на збереження енергії

Реалізація потенційної продуктивності виду, сорту сільськогосподарських культур зводиться в основному до меліорації середовища. Умови середовища для культивування сільськогосподарських культур поліпшують оранкою, зрошенням, осушенням, регулюванням площі живлення, знищенням бур'янів, шкідників, хвороб, а це пов'язано з витратами великої кількості ресурсів та енергії. Проте є дешевший шлях — створення сортів із великим адаптивним потенціалом. Використання цього потенціалу видів, сортів, а можливо й

угруповань, веде до зменшення витрат непоновлюваної енергії на меліорацію середовища.

Так, без великих витрат на матеріалізовану енергію врожайність озимої пшениці за 21 рік (1965 – 1985) в Україні подвоїлась, у тім числі на чверть — за рахунок селекції. Створення високоврожайних, стійких до хвороб та шкідників нових сортів коштує набагато дешевше порівняно з витратами на хімічні засоби боротьби. Відселектований на збільшення врожаю, вмісту в зерні протеїну, лізину сорт — це надійний, стабільний чинник, завдяки якому набуті ознаки передаються потомству.

Досліди підтверджують, що масово запроваджувати ту чи іншу техніку й технологію доцільно тільки тоді, коли приріст корисного ефекту (енергії, акумульованої в урожаї) перевищує збільшення енерговитрат, тобто коли енергоємність одиниці врожаю зменшується по всьому виробничому циклу — від підготовки ґрунту, насіння до отримання кінцевого продукту — урожаю.

7.5. Енергетичний бюджет (баланс) тварин

Стосовно енергетичного бюджету тварин, особливо в теоретичному і науково-селекційному плані, слід чітко виділяти гомойотермний (рис. 7.14, *а*) і пойкілотермний (рис. 7.14, *б*) типи.

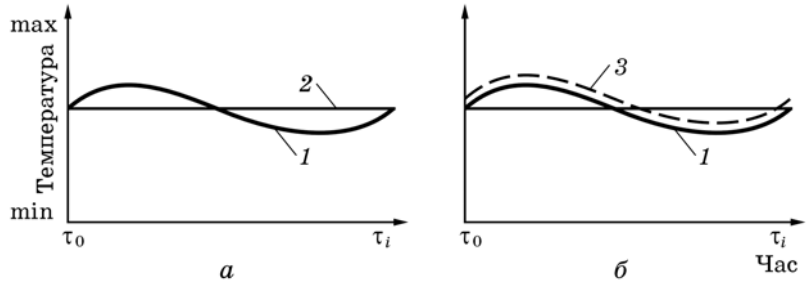


Рис. 7.14. Типи енергетичного бюджету тварин:
1 — температура середовища; *2, 3* — температури відповідно гомойотермних і пойкілотермних тварин

Усі сільськогосподарські тварини належать до гомойотермного типу: за зміни температури середовища температура тіла тварин не змінюється, а залишається в межах генетичної норми. Пойкілотермні тварини (плазуни, рептилії, дощові черв'яки тощо) набувають температури середовища.

Екологічну схему температурного поля тварина — середовище наведено на рис. 7.15.

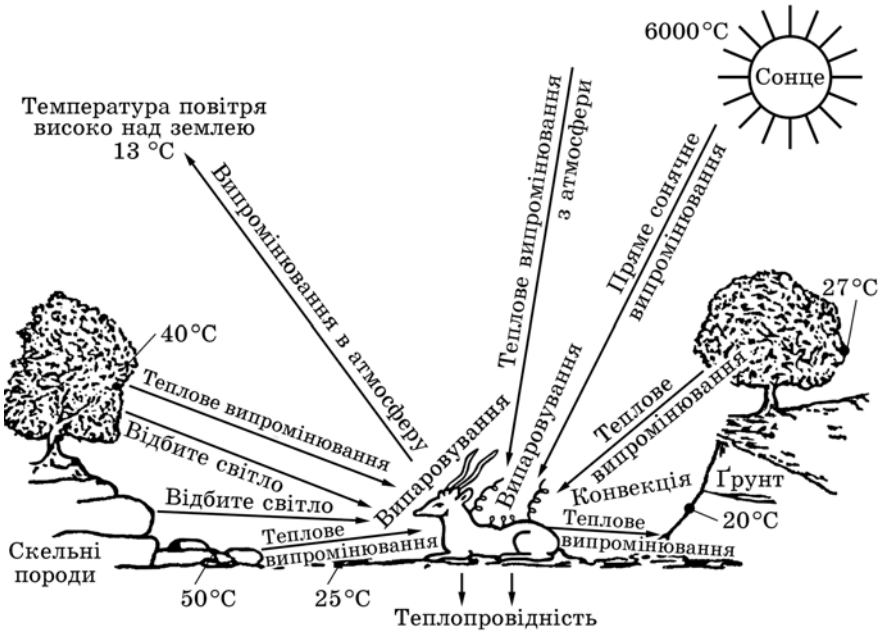


Рис. 7.15. Схема шляхів отримання та витрат тваринами теплової енергії з довкілля в помірно теплих температурних умовах (за Е. Піанка, 1981)

Теплообмін між твариною і середовищем приблизно пропорційний площі поверхні її тіла: оскільки дрібні тварини мають більше співвідношення площі поверхні тіла до його маси, вони відповідно продукують і витрачають порівняно більше тепла, ніж великі.

Енергетика поведінки

Ґрунтуючись на фактичному матеріалі, можна стверджувати, що сумарна рухова активність (хода, біг, стрибання) та її енергетичний еквівалент у дрібних тварин вищі, ніж у великих.

Сумарна активність та енергетичний еквівалент більшості тварин (і людини) можуть характеризувати певний вид і навіть певну особину.

Надмірне м'язове навантаження, як і недостатнє, шкідливе для тварин. Між тривалістю годівлі й енергетичною цінністю спожитого корму існує зворотне співвідношення: чим нижча його цінність, тим тривалішим має бути час годівлі. Розраховано, що на 1 кг маси тіла травоїдних форм тварин за 1 хв надходить 0,16 – 0,58 кДж енергії. Така енергетична основа харчової поведінки з кількісного боку.

Є підстави припустити, що індивідуальні адаптації і генетичні обумовлення у пойкілотермних організмів значно різняться, що є важливим чинником, який обмежує географічний розподіл видів.

Енергетичний бюджет і принципи розділення

Кожен організм має у своєму розпорядженні певну кількість доступної енергії, яку він може витратити на ріст, підтримання обміну речовин і розмноження, тобто енергетичний бюджет кількісно та якісно обмежений, й отже, чітко обмежена його здатність до саморегуляції і гомеостазу.

Організм, доведений до агресивного стану дією будь-якого чинника, здатний витримувати менший діапазон змін інших чинників. Пропорційність у взаємовідносинах організму і середовища спостерігається в різних аспектах. Наприклад, параметр «ширина» не може збільшуватись без одночасного зменшення параметра «висота». Ця співрозмірність, відома як *принцип розділення*, допомагає зрозуміти і правильно інтерпретувати численні екологічні явища. Наприклад, для тварини великого розміру з ротовим апаратом певної будови одна частина жертв є оптимальною, а інша частина — ні, оскільки вони або занадто великі, або дуже дрібні для того, щоб їх можна було успішно піймати і проковтнути. Кожна тварина має свою «криву використання», що відбиває фактичну кількість жертв різного розміру, які можуть бути з'їдені за одиницю часу за певних умов.

Згідно з принципом розділення, тварина, пристосована до поїдання жертв, розмір яких має широку амплітуду, поступатиметься тваринам, спеціалізованим на поїданні жертв із меншою параметричною амплітудою. Інакше кажучи, хто береться за багато справ відразу, неспроможний добре виконати жодну з них.

Важливою характеристикою енергетичного бюджету тварин є показник теплопродукції (табл. 7.11).

Таблиця 7.11. **Теплопродукція деяких видів гомойотермних тварин**

Вид тварин	Маса тіла, кг	Теплопродукція, кДж/доба	
		на 1 кг маси тіла	на 1 $м^2$ поверхні тіла
Курка	2,0	297	4218
Кріль	2,3	314	3247
Гуска	3,5	279	4259
Собака	15,2	215	4347
Свиня	128,6	79	4510
Корова	400	134	4360
Кінь	441,6	47	3967

Для підтримання свого існування великі тварини потребують більших кількостей поживних речовин і енергії, ніж дрібні, і для того щоб отримувати їх, вони мусять пересуватись ширшими територіями, ніж дрібні, які споживають той самий корм. Це спостерігається і в технології вирощування свійських тварин. Так, одомашнена популяція корів (стадо) більшу частину року освоює більші площі луків, пасовищ тощо, ніж стадо дрібної рогатої худоби.

Характер живлення також впливає на рух тварини і площу території, яку вона використовує. Оскільки корм травоїдних тварин, як правило, наявний у достатній кількості, вони освоюють менші території, ніж хижаки і ті травоїдні, які змушені шукати свою їжу, що менш поширена, ніж просто трава (плоди, ягоди), і витрачають багато часу й енергії на її пошуки, пересуваючись при цьому на великі відстані.

Хижаки, як правило, залишають свою територію. Травоїдні рідко це роблять. Наявність того чи іншого корму як у кількісному, так і в якісному аспектах формує не тільки видовий склад і розмір популяцій, а й спосіб життя, й отже, напрямки еволюційного процесу.

Метаболічна ціна руху залежить як від способу руху, так і від розміру тіла тварини. Ціна переміщення одиниці маси тіла на деяку стандартну відстань для великих тварин насправді менша, ніж для дрібних.

Пересування суходолом потребує найбільших витрат енергії, політ птиці характеризується деяким середнім значенням енергетичних витрат, а плавання за умови подовженої веретеноподібної форми тіла — найекономічніше. Ці положення широко використовує й людина у своїй життєдіяльності: перевезення вантажу водою як енергетично, так і економічно вигідніше, ніж, скажімо, вантажними автомобілями.

7.6. Еколого-технологічна оцінка енергетичного балансу вирощування сільськогосподарських тварин

Оскільки агроекосистема — це штучна система рослинних і тваринних угруповань, то, з одного боку, її енергетичний блок «тварина» є похідним від блоку «рослина», а з іншого — блок «тварина» детермінує блок «рослина». Справді, незважаючи на якісні відмінності тваринного і рослинного організмів, між ними існує тісний зв'язок як на популяційному, так і на міжпопуляційному рівні. Оскільки потік енергії в тваринництві здійснюється насамперед через ланцюг живлення, в організмах рослин і тварин виявлено майже всі хімічні елементи, однак понад 95 % припадає на вуглець, во-

день, азот, кальцій і фосфор. Хімічні елементи входять до складу як органічних, так і неорганічних сполук. До перших належать протеїн, жири, вуглеводи, ферменти тощо, до других — мінеральні речовини та вода, яку вважають також рідким мінералом.

Енергетичні підходи дають найбільш обґрунтовані рішення щодо ефективного ведення тваринництва. Це дає змогу свідомо перейти до енергетичної оцінки функціонування другого блоку агроекосистеми — «тварини», і насамперед його вихідної складової — кормів.

Загальні поняття

Перетравністю називають низку гідролітичних розщеплень компонентів корму (білків, жирів, вуглеводів) під впливом ферментів травних соків та мікроорганізмів.

Перетравними називають такі поживні речовини, які внаслідок травлення надходять у кров і лімфу. Частина ж корму з рештками травних соків, слизом, кишковим епітелієм і продуктами обміну виводиться з організму у вигляді калу (табл. 7.12).

Таблиця 7.12. **Кількості згодованого корму і виділеного калу та їх хімічний склад** (у перерахунку на сиру речовину)

Показник	Маса, кг	Вміст, %			
		протеїну	жиру	клітковини	БЕР
Згодовано за добу					
сіна	7	12,0	3,0	24,0	36,0
силосу	12	1,6	0,4	5,5	10,2
кормових буряків	10	1,3	0,1	0,9	9,5
пшеничних висівок	2	15,4	3,2	8,4	53,2
Виділилось калу за добу	25	2,3	0,6	5,2	6,0

Відношення кількості перетравлених поживних речовин до кількості спожитих із кормом, виражене у відсотках, називають *коефіцієнтом перетравності поживних речовин*. Наприклад, якщо корова отримала з кормом 1300 г протеїну, а з калом його виділилось 400 г, то перетравлена частина дорівнює 900 г, а коефіцієнт перетравності протеїну — 69,2 % (900 : 1300 · 100 % = 69,2 %).

Перетравність поживних речовин залежить від низки чинників — виду тварин, складу раціону, кількості корму та його підготовки, технології годівлі.

Енергетична оцінка поживності кормів

В основу енергетичної оцінки поживності кормів покладено метод обліку матеріальних змін в організмі тварини, про що роблять

висновок за балансом речовин та енергії, зокрема за відкладанням у запас чи розкладанням білків і жиру, які визначають за балансом азоту й вуглецю.

Баланс азоту встановлюють за рівнянням

$$N_{кор} = N_к + N_с + N_б + N_п,$$

де $N_{кор,}$ $N_к$, $N_{с,}$ $N_б$, $N_п$ — вміст азоту відповідно в кормі, калі, сечі, в білку, що відклався в організмі, та азот, що відклався в продуктах (молоці, яйцях, вовні).

Про зміни вмісту жиру судять за балансом вуглецю:

$$C_{кор} = C_{п.д} + C_с + C_к + C_{к.г} + C_{б.ж},$$

де $C_{кор}$, $C_{п.д}$, $C_с$, $C_к$, $C_{к.г}$, $C_{б.ж}$ — вміст вуглецю відповідно в кормі, продуктах дихання, сечі, калі, кишкових газах та в білку і жирі, що відклалися в організмі або виділились із продуктами (молоком, яйцями).

Якщо за кормову одиницю взято 1 кг вівса середньої якості, що при відгодівлі тварин пересічно дає 150 г жиру, то в енергетичному еквіваленті це дорівнює 5,9 МДж чистої енергії. Нижче наведено показники продуктивності 1 г чистих поживних речовин (за О. Кельнером):

Перетравна поживна речовина	**Кількість жиру, що відкладається в організмі, г**
Білок	0,235
Жир грубих кормів	0,474
Жир зернових	0,526
Жир насіння олійних і макух	0,598
Крохмаль і клітковина	0,248

В основу оцінювання енергетичного балансу вирощування сільськогосподарських тварин покладено поняття про обмінну енергію.

Обмінна енергія — це енергія кормів мінус енергія сечі, калу, кишкових газів, тобто енергія засвоєних організмом поживних речовин. Схему цього обміну в ланці корм — тварина наведено на рис. 7.16.

Одиницею оцінки обмінної енергії є *енергетична кормова одиниця* (ЕКО).

ЕКО = 10 450 кДж (2500 ккал) обмінної енергії (визначають експериментально або розраховують).

Обмінну енергію корму можна знайти за середнім значенням вмісту обмінної енергії в 1 г перетравних поживних речовин.

Ж. Аксельсон рекомендує використовувати для цього коефіцієнти, наведені в табл. 7.13.

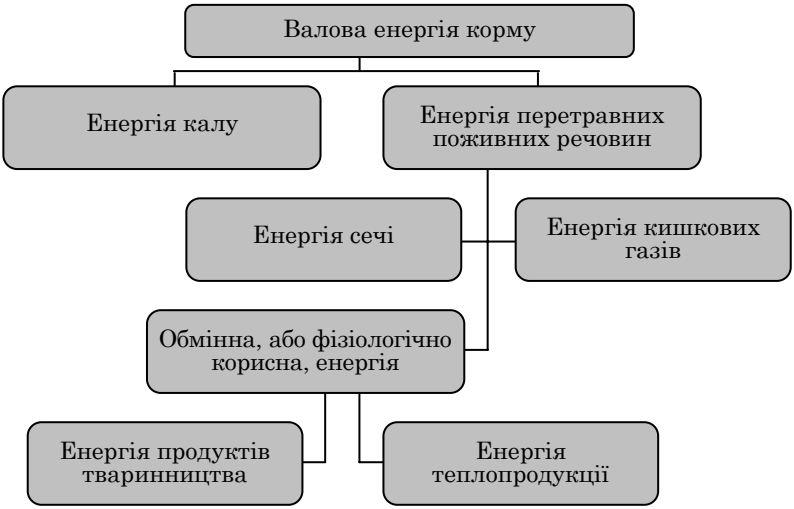


Рис. 7.16. Схема енергообміну в ланці корм — тварина

Таблиця 7.13. **Кількість обмінної енергії в основних кормах для великої рогатої худоби**

Перетравна поживна речовина корму	Вид корму	Вміст обмінної енергії, кДж/г
Протеїн	Грубий корм	18,0
	Концентровані корми, корми тваринного походження	18,8
Жир	Грубий корм	32,7
	Зернові	34,8
	Оліїсте насіння	36,8
	Корми тваринного походження	38,9
БЕР		15,5
Клітковина		12,1
Сума поживних речовин		15,4

Співвідношення між сумарною енергією перетравних поживних речовин та обмінною енергією є величиною сталою і для жуйних тварин дорівнює 0,34, для свиней — 0,96.

Наприклад, треба знайти вміст обмінної енергії в зерні кукурудзи, яке згодовують великій рогатій худобі, свиням та птиці, якщо вміст поживних речовин у зерні такий, %: протеїн — 10,2, жир — 4,7, клітковина — 2,7, БЕР — 66,1. Коефіцієнти перетравності цих компонентів наведено в табл. 7.14, а порядок і результати розрахунків обмінної енергії для птиці — в табл. 7.15.

Таблиця 7.14. **Коефіцієнти перетравності кормового зерна кукурудзи**

Вид тварин	Коефіцієнт перетравності, %			
	протеїну	жиру	клітковини	БЕР
Велика рогата худоба	77	79	57	95
Свині	78	60	44	92
Птиця	87	82	23	90

Таблиця 7.15. **Схема розрахунку вмісту обмінної енергії в 1 кг зерна кукурудзи для птиці** (за Х.У. Тітусом)

Показник	Компонент зерна			
	Протеїн	Жир	Клітковина	БЕР
Хімічний склад, %	10,2	4,7	2,7	66,1
Коефіцієнт перетравності, %	87	82	23	90
Маса перетравних поживних речовин, г	88,7	38,5	6,2	594,9
Енергетичний еквівалент 1 г перетравних речовин, кДж	18,4	38,1	17,6	17,6
Вміст обмінної енергії, кДж у перетравних речовинах корму	1632,1	1466,8	109,1	10470,2
в 1 кг корму, всього	13 678,2			

Оцінка обмінної енергії кормів — дуже важливий показник проектно-технологічної схеми корм — тварина, тому її треба встановлювати предметно-орієнтовано, тобто на певну категорію тварин: велику рогату худобу, свиней, овець тощо (табл. 7.16). На цій основі планування виробництва тваринницької продукції і формування найраціональнішої кормової бази мають бути тісно взаємозв'язані. Це потрібно враховувати як на технологічному, так і на селекційному рівні.

Підвищення якості основних кормів за сучасних умов є одним з основних завдань вирішення проблеми істотного збільшення молочної продуктивності корів до 5000 – 6000 кг/рік і більше молока від однієї корови.

Велике значення має не тільки абсолютний кількісний показник функціональної енергії, а й такий показник, як концентрація енергії основних кормів.

На жаль, чинні державні стандарти не враховують такий важливий показник, як концентрація енергії (КЕ) в одиниці маси сухої речовини (СР) корму. КЕ в багатьох випадках визначає рівень продуктивності кормів. Якщо в 1 кг СР раціону міститься 0,6 – 0,7 кормових одиниць, то від однієї корови практично неможливо отримати надій молока 6000 – 8000 кг/рік.

Таблиця 7.16. **Оцінка обмінної енергії кормів для сільськогосподарських тварин,** МДж/кг

Корм	Велика рогата худоба	Свині	Вівці
Трав'яне борошно			
злакове різнотрав'я	8,01	7,33	8,57
конюшина	8,41	7,98	9,01
люцерна	8,20	7,33	8,61
конюшина + тимофіївка	7,50	7,00	8,30
Сінаж			
люцерновий	4,19	4,24	4,50
злаково-різнотравний	3,44	3,46	3,85
Солома			
бобова	5,07	3,80	5,40
ячмінна	5,71	4,28	6,15
озимої пшениці	4,76	—	5,12
Сіно природних угідь			
лучне (в середньому)	6,85	—	7,28
суходільне	6,51	—	7,00
Силос			
кукурудзяний (70 %)	2,76	2,51	—
горохово-вівсяний	2,11	2,80	2,06
Коренебульбоплоди			
картопля	2,82	3,19	3,00
кормові буряки	1,65	1,74	1,36
Зелені корми			
горох	11,10	13,06	11,04
пшениця	10,80	13,57	12,30
Відходи виробництва			
свіжий жом	1,13	1,74	—
кормова патока	9,36	11,78	—
Корми тваринного походження			
відвійки молочні свіжі	1,31	1,51	—
м'ясо-кісткове борошно	8,63	11,50	—
рибне борошно (протеїну до 30 %)	9,92	15,07	—

Для економічної оцінки виробництва продукції тваринництва та при ціноутворенні також доцільно застосовувати енергетичні підходи, спираючись на чинні нормативні показники (табл. 7.17).

Вміст обмінної енергії у продукції скотарства можна визначати за формулою

$$E_0 = (Ж \cdot 38{,}8) + (Б \cdot 18{,}8) + (В \cdot 17{,}6),$$

де *Ж, Б, В* — вміст відповідно жиру, балка і вуглеводів в 1ц молока, м'яса яловичини, кг; 38,8, 18,8, 17,6 — вміст обмінної енергії в 1 кг відповідно жиру, білка і вуглеводів молока, м'яса яловичини, кг.

За цих показників нормативний вміст обмінної енергії в 1 ц молока становить 304 МДж, 1 ц м'яса — 841 МДж.

Таблиця 7.17. **Вміст поживних речовин у продукції тваринництва** (за А.О. Омельяненком)

Продукція	Вміст, %		
	жирів	білків	вуглеводів
Молоко	4,3	3,0	4,6
М'ясо великої рогатої худоби	12,5	18,0	1,0

Ціну 1 МДж обмінної енергії розраховують за співвідношенням

$$Ц = ЦС/ОЕ,$$

де *ЦС* — ціна 1 ц стандартної продукції, грн; *ОЕ* — вміст обмінної енергії в 1 ц реалізованої продукції, МДж.

Наприклад, якщо за 1 ц реалізованого молока отримали 70 грн, то 1 МДж обмінної енергії молока з базисним вмістом поживних речовин оцінюють у 23 коп. (70 грн : 304 МДж).

Запитання для самоконтролю

1. Що таке енергопотенціал ґрунту та яке його значення для екосистеми? **2.** Назвіть основні складові енергетичного балансу ґрунтотворення та зазначте заходи його регулювання. **3.** У чому полягають основні закономірності потоку енергії в агроекосистемі? **4.** Що є теоретичною основою підвищення ефективності використання енергії в агроекосистемі та які практичні заходи з цього випливають? **5.** Що розуміють під антропогенною енергією та які складові її витрат? **6.** У чому полягає методика енергетичної оцінки технології виробництва продукції рослинництва? **7.** Які способи обробітку ґрунту характеризуються вищою енергетичною ефективністю? **8.** Яке значення селекції рослин у підвищенні енергетичної ефективності технологій виробництва продукції рослинництва? **9.** У чому полягає методика енергетичної оцінки кормів? **10.** Як визначають енергетичну ефективність виробництва продукції тваринництва?





Розділ 8

МЕЛІОРАТИВНА АГРОЕКОЛОГІЯ

Чинники середовища (абіотичні, біотичні, антропогенні інформаційні та ін.) діють на організми не ізольовано, а в системній єдності. Навколишнє середовище, тобто середовище життя рослин і тварин, формує велика кількість елементарних компонентів, процесів, явищ.

Для кожного типу біоценозу (степового, лісостепового, поліського чи якогось іншого) характерна своєрідна комбінація взаємозв'язаних екологічних чинників. Крім того, навіть в одній і тій самій екосистемі співвідношення чинників середовища нестабільне і з часом змінюється.

У зоні Полісся України навесні часто можна спостерігати в експозиціях як в одній і тій же екосистемі нічна темрява поєднується з мінусовими температурами повітря, які з появою сонця змінюються на плюсові.

Одним із важливих комплексних екологічних чинників, що визначально впливає на розподіл рослин і тварин в екологічних системах, є клімат.

За просторовим поширенням розрізняють макро-, мезо- і мікроклімат. *Макроклімат* залежить не тільки від кулястості Землі, її руху навколо Сонця, а й від інших причин, зокрема від взаєморозміщення материків і великих водойм. Моря й океани значно пом'якшують клімат суходолу. Класифікацію макроклімату, що ґрунтується на вимірюванні температури й вологи повітря, широко ви-

користовують у багатьох регіонах країни для добору видів (сортів) культурних рослин, визначення строків їх висіву, збирання врожаю та ін. *Мезоклімат* — це клімат лісів, схилів гір тощо. Мезоклімат значною мірою залежить від гористості місцевості, рослинності, на нього також виливає антропогенний чинник. Наприклад, внаслідок створення водосховищ мезоклімат стає вологішим. *Мікроклімат* — це клімат крони дерева, теплиці, нори, хліва чи іншого тваринницького приміщення.

Мікрокліматичні умови життя особин різних видів рослин і тварин в одному і тому ж біоценозі не одинакові. В посівах основних сільськогосподарських культур (пшениця, жито, ячмінь, картопля, кукурудза, буряки тощо) проведено комплексну оцінку світла, тепла, відносної вологості та інших еколого-кліматичних показників. Це дало змогу розробити методи створення штучного клімату в теплицях та інших екосистемах закритого ґрунту.

Ґрунт — комплексна система, створена під впливом природних чинників (клімат, рослинні й тваринні організми, мікроорганізми, рельєф місцевості) та діяльності людини на ґрунтотворній материнській породі. Основними засобами виробництва у сільському господарстві можуть бути також ліси, ландшафти, клімат, водні об'єкти, порушені землі та ін. У зв'язку з цим виділяють різні види і способи меліорації (рис. 8.1).

На думку фахівців, у процесі господарської діяльності загалом треба проводити понад 35 видів меліорації. Одним з основних серед них є меліорація ґрунтів, яка здійснюється штучним регулюванням їх водного, повітряного, теплового, сольового, біохімічного і фізико-хімічного режимів. Як засвідчує багаторічна практика, для регулювання і зміни перелічених властивостей ґрунту застосовують близько 30 видів меліорації ґрунтів (зрошення й осушення, агролісомеліорація і фітомеліорація, піскування глинистих ґрунтів і глинування легких піщаних і торфових ґрунтів, вапнування і гіпсування, внесення поверхнево-активних речовин, закріплення ярів, сидерація і внесення агрохімічних та мінеральних добрив, корчування пеньків і видалення кущів, збирання валунів і каміння з полів, луків і пасовищ, знищення купин, вирівнювання мікрорельєфу ґрунту тощо). Кожен вид цих робіт виконують залежно від господарської необхідності і доцільності з урахуванням природних умов певної місцевості. При цьому найбільший ефект отримують у разі комплексного здійснення системи меліоративних заходів. Наприклад, зрошення полів дає добрий ефект у поєднанні з внесенням мінеральних та органічних добрив, вирощуванням на полях спеціально виведених сортів рослин, будівництвом дренажної мережі за суворого дотримання норм поливу.

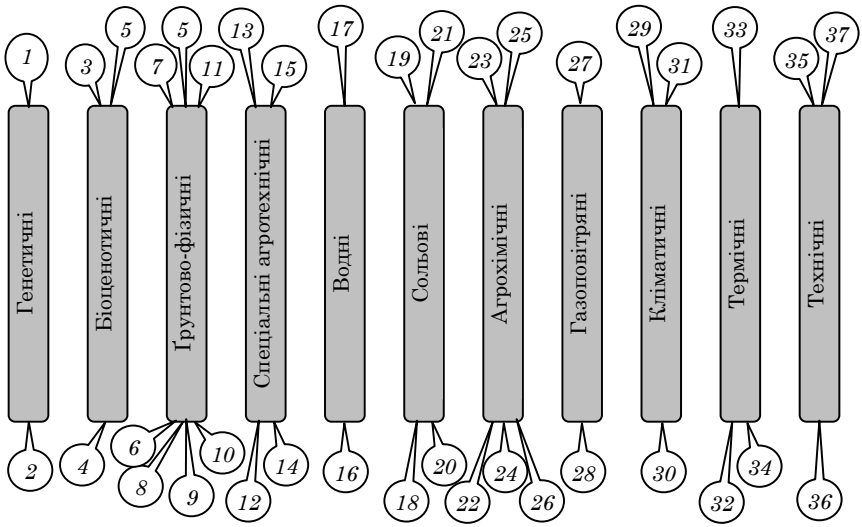


Рис. 8.1. Схема комплексної меліорації в агроекосистемі:

1 — культура; *2* — сорт; *3* — біоциди; *4* — біологічні способи боротьби з комахами; *5* — бактеріальні добрива; *6* — поліпшення структури в сівозміні (тра́ви); *7* — обробка структуротворними та іншими полімерами; *8* — закріплення пісків; *9* — заходи боротьби з вітровою ерозією; *10* — заходи боротьби з водною ерозією; *11* — поглиблення орного горизонту; *12* — освоєння нових земель; *13* — рекультивація виведених з обігу земель; *14* — агролісомеліорація; *15* — мульчування; *16* — зрошення; *17* — осушення; *18* — дренаж; *19* — промивання; *20* — меліоративна оранка; *21* — гіпсування; *22* — вапнування; *23* — внесення мінеральних добрив; *24* — внесення органічних добрив; *25* — внесення мікроелементів; *26* — обробка стимуляторами й інгібіторами росту; *27* — підживлення CO_2; *28* — подавання повітря (O_2) підґрунтовими трубками; *29* — імпульсне зволоження повітря; *30* — конденсування опадів; *31* — заходи боротьби з градом; *32* — заходи боротьбі із приморозками; *33* — тимчасові укриття; *34* — обігрівання ґрунту; *35* — сумісний обробіток ґрунту; *36* — рівень механізації; *37* — рівень автоматизації

Аналіз розвитку сільськогосподарського виробництва у світі засвідчує, що найбільших успіхів досягли ті країни, де були здійснені широкомасштабні національні програми зі створення зрошувальних і осушувальних систем. За даними світової продовольчої сільськогосподарської організації ООН, у 1985 р. налічувалось 270 млн га зрошуваних і 164 млн га осушених земель (табл. 8.1).

Успішність сільськогосподарського виробництва в Україні залежить від рівня використання земельних і водних ресурсів. У межах країни виділяють три природно-кліматичні зони: надмірно зволожену Поліську (25 % площі); недостатньо зволожену Лісостепову (35 %); посушливу Степову (40 %).

Таблиця 8.1. **Площі зрошуваних та осушених земель у країнах світу**

Країна	Площа оброблюваних земель, млн га	Зрошувані землі		Осушені землі		Чисельність населення, млн чол.
		Всього, млн га	Частка, %	Всього, млн га	Частка, %	
США	190,6	28,6	15	44,4	23	270
Індія	169,5	50,1	30	5,9	3	971
Китай	100,9	31,0	51	17,3	17	1255,6
Україна	33,1	2,45	7	3,08	9	50
Туреччина	27,3	4,2	15	0,6	2	64,8
Пакистан	21,2	17	80	6,1	29	142,3
Іран	18,7	7,3	39	0,3	1	60,7
Франція	18,6	2,5	13	3,2	17	58,8
Італія	10,4	3,6	35	3,0	29	57,7
Іспанія	10,4	3,1	30	0,2	2	39,4
В'єтнам	7,2	5,8	81	0,1	14	77.8
Ірак	5,5	3,5	64	1,6	29	20,6
Японія	3,8	3,1	82	0,3	8	126,1
Єгипет	3,3	3,3	100	1,6	48	63,4
Усього в світі	1588,0	270,0	17	164	10	6000

Дві третини території України за природною зволоженістю знаходяться у несприятливих для сільського виробництва кліматичних умовах, що значною мірою впливає на його ефективність.

Для зменшення негативного впливу кліматичних умов в Україні створено меліоративні системи на площі 5,75 млн га сумарною вартістю основних фондів близько 20 млрд грн (табл. 8.2).

Таблиця 8.2. **Площі та частки меліорованих земель в Україні**

Агрокліматична зона	Зрошувані землі				Осушені землі			
	Площа, тис. га		Частка, %		Площа, тис. га		Частка, %	
	всього	ріллі	всього	ріллі	всього	ріллі	всього	ріллі
Україна загалом	2466	2356	4,1	7,1	3298	1875	5,5	5,7
Степ	2099	2003	8,4	12,8	22	4,3	0,1	0,0
Лісостеп	356	345	1,8	2,9	854	525	4,2	4,4
Полісся	11	8	0,1	0,1	2422	1346	16,12	24,6

Меліоровані землі, що займають 12,6 % загальної площі сільськогосподарських угідь, забезпечували раніше виробництво 20 % продукції рослинництва (овочів — 60 %, рису 100, льоноволокна — 36, зерна — 12 %). Значна частка меліорованих земель у продовольчому та ресурсному забезпеченні держави зумовлена їх вищою порівняно з богарною продуктивністю.

8.1. Еколого-технологічні основи осушувальних меліорацій

Меліоративний фонд перезволожених земель України становить 5,4 млн га, в тім числі понад 3,9 млн га боліт і заболочених земель. Зосереджені вони переважно в Поліській і Лісостеповій зонах. Площа осушених земель досягає 3,3 млн га або близько 30 % загальної площі сільгоспугідь.

Болото — це надмірно зволожена ділянка земної поверхні, вкрита шаром торфу завтовшки не менш як 30 см у неосушеному і 20 см — в осушеному стані. Надмірно зволожені ділянки без торфу або з шаром торфу менш як 30 см називають *заболоченими землями*. Отже, основною зовнішньою ознакою боліт і заболочених земель є їх постійне або періодичне надмірне зволоження.

Джерелом надмірного зволоження кореневмісного шару ґрунту бувають:

- атмосферні опади, що випадають безпосередньо на осушувані землі у вигляді дощу або снігу, перенесений вітром з інших частин водозбору сніг у зимовий період, конденсація в кореневмісному шарі ґрунту водяної пари з повітря влітку, — тобто все те, що називають атмосферним живленням;
- поверхневі води, що стікають зі схилів прилеглого водозбору (схилове живлення);
- води весняних і літніх паводків, які надходять у великій кількості з річок і озер (руслове живлення);
- підґрунтові води, що надходять у кореневмісний шар із розміщеного вище водозбору, річок і озер та утворюють близькі до поверхні землі рівні підґрунтових вод (ґрунтове живлення);
- підґрунтові води, які підіймаються з глибших підземних водоносних горизонтів під тиском (ґрунтово-напірне живлення).

Здебільшого спостерігається змішаний тип водного живлення боліт.

Водне живлення — основна причина утворення боліт і заболочених земель. Крім того, на їх утворення впливає низка чинників, які посилюють, а іноді ослаблюють дію основної причини. До них належать рельєф поверхні, літологічна будова підґрунтових шарів, гідрогеологічні умови місцевості.

Рельєф місцевості значно впливає на утворення боліт і заболочених земель. На підвищених вододільних ділянках волога в ґрунті накопичується тільки за рахунок атмосферних опадів, що випадають безпосередньо на цю поверхню. Надмірне зволоження кореневмісного шару ґрунту тут трапляється тільки навесні — у період танення снігу або випадання інтенсивних дощів.

Положисті схили перезволожуються більш ніж стрімкі, а нижня частина схилу — більш ніж верхня. Особливо несприятливий водний режим ґрунту формується в багатьох безстічних пониззях.

Методи і способи осушення заболочених земель

Надмірно зволожені мінеральні й органогенні ґрунти поширені переважно в західних областях та на Поліссі України. Ґрунтовий покрив і підстильні породи в цих регіонах дуже різноманітні. За ступенем заболоченості мінеральних земель, типом ґрунтів і підстильних порід, іншими чинниками, що впливають на вибір методу і способів осушення, всю територію поширення заболочених земель можна поділити на чотири провінції.

Перша провінція займає майже всю площу Поліської низовини в межах України (басейн р. Прип'ять). Південну її межу можна умовно провести по лінії Луцьк — Рівне — Житомир — Київ, північну — по державному кордону. Тут переважають дерново-підзолисті, піщані, супіщані і глинисто-піщані ґрунти з фільтрівним ілювіальним прошарком. Посіви на цих ґрунтах не вимокають, але в окремі роки спостерігається підтоплення понизь підґрунтовими водами у зв'язку з високим загальним рівнем їх стояння.

Дуже підзолисті супіщані і глинисто-піщані ґрунти з водонепроникним шаром ілювію, що затримує воду на поверхні, трапляються тільки у мікрорельєфних пониззях, які поширені територією нерівномірно; їх називають вимочками (блюдцями). В окремих районах вони становлять 5 % усієї площі. Крім вимочок, тут часто надмірно зволожуються дерново-підзолисті глейові і дерново-підзолисті суглинкові ґрунти, які залягають також на пісках, але мають водонепроникний ілювіальний прошарок на глибині 0,3 – 0,6 м.

Друга провінція займає вододільне Волино-Подільське плато, верхні частини басейнів Прип'яті і Західного Бугу, а також лівобережну частину басейну Дністра. Вона характеризується найбільшою різноманітністю ґрунтово-геологічних умов, проте тут переважають ясно-сірі, сірі опідзолені ґрунти та опідзолені чорноземи, що сформувалися в основному на лесових породах, які підстелені мергелями, глинами, щільними вапняками і в окремих випадках — пісками. У Львівській обл. ці ґрунти часто карбонатні і залягають безпосередньо на мергелях. Їх гумусово-ілювіальний і ілювіальний горизонти, що мають товщину 30 – 60 см, водопроникні. Нижче залягає ілювіальний, дуже ущільнений, важкого гранулометричного складу горизонт, практично водонепроникний. Підстильні породи малопроникні для води або зовсім водонепроникні.

Ясно-сірі і сірі опідзолені ґрунти майже завжди на поверхні оглеєні внаслідок застоювання води атмосферних опадів над ілювіальним горизонтом.

Третя провінція знаходиться на території північно-східного Прикарпаття, тобто на правобережній частині басейну Дністра і

правобережній частині басейну Пруту в межах Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей.

Основними ґрунтовими відмінами тут є дерново-середньопідзолисті поверхнево оглеєні і дерново-глейові ґрунти, що залягають на глинах. Товщина ґрунтових горизонтів змінюється в межах 0,3 – 1,0 м. Як і в перших двох, у третій провінції ілювіальні горизонти, що залягають на глибині 0,3 – 0,6 м, водонепроникні. Вимокання посівів сільськогосподарських культур тут трапляються частіше і на більших площах, ніж в інших провінціях.

Четверта провінція займає передгірну і рівнинну частини Закарпатської обл. Тут переважають дерново-глеєві ґрунти у комплексі з підзолисто-глеєвими і болотними, дерново-середньопідзолисті і дуже підзолисті оглеєні важкосуглинкового і середньосуглинкового гранулометричного складу. Підстильними породами цього комплексу ґрунтів є важкі суглинки, глини і мергелі.

Отже, якщо в поліських районах з рівнинним рельєфом і піщаними, піщано-суглинковими і супіщаними ґрунтами, які залягають на пісках, надмірне зволоження орних земель спричинюють мікропониззя з оглеєними, сильно опідзоленими ґрунтами, а в окремих випадках — близьке до поверхні залягання підґрунтових вод, то в Прикарпатті і Закарпатті надмірне зволоження орного шару трапляється внаслідок великої кількості опадів, близького залягання непроникного для води горизонту і слабкої водопроникності підорного шару, особливо ілювіального горизонту.

Поряд з надмірною зволоженістю орних земель і вимоканням посів у весняний період та під час тривалих дощів досить частими є періоди, коли кількість атмосферних опадів не перевищує 20 мм на місяць, у зв'язку з чим врожай сільськогосподарських культур різко знижується через нестачу вологи у ґрунті.

Швидке пересихання орного шару ґрунтів, що поширені в західних областях і на Поліссі України, пояснюють тим, що ці ґрунти неспроможні утримувати великі запаси вологи, потрібної для рослин на період короткочасних посух.

Піщані ґрунти Полісся внаслідок переважання в них некапілярних пор над капілярними мають велику фільтрівну здатність: вода швидко проходить крізь кореневмісний шар у глибші горизонти, водоутримувальна здатність таких ґрунтів мала. У важких підзолистих ґрунтах внаслідок їх безструктурності і близького залягання водопідпору проникнення води у ґрунт утруднене, а випаровування полегшене через густу мережу тонких капілярів, що пронизують верхній ґрунтовий шар.

Отже, нерівномірний розподіл опадів по місяцях і несприятливі водно-фізичні властивості ґрунтів західних областей і Полісся України змушують передбачати в проектах щодо осушення земель не

лише відведення надлишкових вод з поверхні поля та з орного шару, а й створення умов для накопичення якомога більшої кількості вологи в глибших, доступних для рослин горизонтах, щоб забезпечити регулювання водно-повітряного режиму ґрунту протягом усього вегетаційного періоду рослин.

В Україні застосовують такі методи осушення заболочених земель: прискорення поверхневого стоку, прискорення стоку орним шаром (відведення води крізь орний шар поверхнею водонепроникного, підорного шару), захист осушуваної території від дії підґрунтових і поверхневих вод.

Як і утворення боліт, заболочення мінеральних земель нерідко відбувається за одночасної дії кількох чинників, тому виникає потреба в застосуванні кількох способів осушення. Найчастіше застосовують такі: закритий (переважно гончарний) дренаж, розріджений закритий гончарний дренаж у поєднанні з кротуванням і агромеліоративними заходами, вибірковий закритий дренаж з рідкою мережею відкритих каналів, захисну систему напірних каналів та вловлювальних дрен, обвалування території для запобігання затопленню її високими повеневими водами, агромеліоративні заходи без будівництва стаціонарної осушувальної мережі.

Часто вдаються відразу до кількох способів осушення одного й того самого об'єкта. Наприклад, розріджений дренаж з рідкою мережею каналів у поєднанні з кротовим дренажем та агромеліоративними заходами застосовують на ґрунтах важкого гранулометричного складу, якщо на глибині не більш як 0,4 м залягають практично водонепроникні глини або важкі суглинки.

Вибірковий закритий дренаж з рідкою мережею відкритих каналів будують у тих випадках, коли надмірне зволоження спостерігається не на всій території, а тільки на окремих знижених ділянках, у місцях малоінтенсивного витікання підґрунтових вод (перша провінція).

Агромеліоративні заходи без спорудження стаціонарної осушувальної мережі можна застосовувати тільки тоді, коли ступінь надмірного зволоження невеликий і воно короткочасне, трапляється на досить розчленованому рельєфі (середній схил поверхні більший за 0,01). Агромеліоративні заходи, незважаючи на їх доступність і простоту, ще не набули поширення через відсутність знарядь для їх здійснення.

Результати досліджень засвідчують, що головною особливістю водного режиму болотних і заболочених ґрунтів є нерівномірність розподілу водних ресурсів протягом вегетаційного періоду і невідповідність їхніх витрат водоспоживанню сільськогосподарськими рослинами в різні періоди вегетації.

Навесні, на початку вегетаційного періоду, водні ресурси на осушених землях найбільші, а витрати вологи на випаровування ґрун-

том і транспірацію рослин — незначні. В цей період рослини повною мірою забезпечені вологою і необхідне відведення зайвої води.

У другій половині літа, коли рослини інтенсивно розвиваються і формується врожай, у середньосухі й посушливі роки спостерігається нестача води. В цей період дефіцит вологи для різних сільськогосподарських культур значний і становить від 800 до 2000 $м^3$/га.

У зв'язку з цим головне завдання осушення полягає не в простому відведенні води з осушуваних площ, а в регулюванні природного, стихійного водно-повітряного режиму болотних ґрунтів і заболочених земель протягом вегетаційного періоду.

Мета регулювання водного режиму ґрунтів полягає в цілковитому задоволенні потреб у воді всіх культур, які вирощують у певних природно-кліматичних умовах, для отримання якомога більшого економічного ефекту від осушення земель. Поряд з цим осушувальні заходи не повинні ускладнювати використання сучасних сільськогосподарських машин і знарядь, створювати сприятливі умови для своєчасного вивезення з осушених земель урожаю, бути доступними за ціною.

Вимоги сільськогосподарських культур до водно-повітряного режиму ґрунту дуже різні. В основному вони залежать від фітобіологічних особливостей окремих видів і сортів вирощуваних культур, типу ґрунтового покриву, кліматичних особливостей зони і року, фази розвитку рослин і пори року. Верхня межа оптимальної вологості ґрунту для росту рослин визначається тільки ступенем його аерації, бо забезпечення рослин вологою буде кращим за вищої вологості. Мінімальний об'єм повітря в ґрунті для різних сільськогосподарських культур змінюється в межах 10 – 50 % його загальної пористості. Отже, оптимальна для росту рослин вологість ґрунту коливається від 90 до 50 % повної вологоємності ґрунту.

Доведено, що найсприятливіша вологість ґрунту для багаторічних лучних трав становить 75 – 80 %, для зернових культур — 70 – 75, для овочевих і технічних культур — 60 – 66 % повної вологоємності.

У практиці сільськогосподарського виробництва вологість мінеральних ґрунтів легкого гранулометричного складу і торфовищ прийнято визначати за рівнем підґрунтових вод. Оптимальна глибина їх залягання, що забезпечує найвищі врожаї сільськогосподарських культур, ототожнюється з нормою осушення. Однак це не поширюється на ґрунти важкого гранулометричного складу з водопроникними підґрунтовими шарами, де відсутній суцільний рівень підґрунтових вод.

Як і вологість ґрунту, норма осушення для певної сільськогосподарської культури протягом вегетаційного періоду змінюється. На його початку, у посівну кампанію, норма осушення має бути такою,

щоб осушені землі стали цілком прохідними для сільськогосподарських машин і знарядь, не пересихав орний шар ґрунту і створювались найсприятливіші умови для проростання висіяного насіння і розвитку молодих рослин. Ці вимоги задовольняються за такого рівня підґрунтових вод, за якого витрати води на випаровування з відкритої поверхні ґрунту своєчасно поповнюються за рахунок капілярного припливу вологи.

Дослідженнями вчених УкрНДІГІМ встановлено, що на торфових ґрунтах цей рівень залежить як від властивостей ґрунту, так і від метеорологічних умов. Наприклад, для середньорозкладених торфових ґрунтів він коливається від 55 см у середньопосушливі місяці до 70 см у середньоволозі. За таких рівнів підґрунтових вод мінеральні та торфові ґрунти легкого гранулометричного складу стають цілком прохідними для сільськогосподарських машин і знарядь.

У міру росту й розвитку сільськогосподарських культур та посилення транспірації рівень підґрунтових вод і вологість ґрунту поступово знижуються. Влітку допустиме зниження їх визначається такими параметрами, за яких ще не настає помітне зменшення врожаїв сільськогосподарських культур.

Максимально допустиме зниження рівня підґрунтових вод залежить від фітобіологічних особливостей сільськогосподарських культур (глибини поширення основної маси коренів), кліматичних чинників (кількості, розподілу атмосферних опадів, температури й вологості повітря) та водоутримувальних властивостей ґрунту (висоти ефективного капілярного підняття).

Дослідженнями науковців УкрНДІГІМ встановлено, що на торфових ґрунтах України основна маса коренів більшості сільськогосподарських культур, за винятком цукрових буряків та конопель, розміщується на глибині 15 – 40 см.

На початку вегетаційного періоду оптимальні рівні підґрунтових вод для всіх наведених у табл. 8.3 культур однакові і становлять у середньопосушливі місяці 55 см, середні за зволоженням — 60 і середньоволозі — 70 см. Проте за всіх однакових умов гідрологічний режим мінеральних і органогенних ґрунтів формується по-різному.

Кількість води, яку треба відвести дренажем з одиниці дренованої території за одиницю часу, називають *модулем дренажного стоку* і вимірюють у літрах за секунду з 1 га (л/(с·га)).

У процесі сільськогосподарського використання земель на фоні дренажу нижні шари ґрунту дещо ущільнюються, що можна пояснити перерозподілом колоїдної частини ґрунту низхідними потоками води. Загалом поряд із позитивним ефектом — збільшенням можливості переведення поверхневого шару в ґрунтовий — виникає загроза втрати з дренажними водами найціннішої з погляду родю-

часті колоїдної фракції ґрунту (втрата елементів живлення рослин), винесення її за межі профілю з подальшим осіданням у дренаж і замулення їх.

Таблиця 8.3. **Оптимальний для сільськогосподарських культур рівень підґрунтових вод протягом вегетаційного періоду на осушених торфовищах**

Культура	Рівень підґрунтових вод, см, у місяці		
	середньо-посушливі	середні за зволоженням	середньо-вологі
Багаторічні трави	70	75	85
Озиме жито, овес на зерно і сіно, вико-вівсяна суміш, пасовищні	75	80	90
Кормові і столові буряки, морква, льон	85	90	100
Пізня капуста	90	95	105
Картопля і кукурудза на силос	95	100	110
Коноплі	105	110	120
Цукрові буряки	115	120	130

Гідрохімія дренажних вод є комплексним компонентом агроекосистем осушених земель, що формується під впливом багатьох чинників.

Режим поживних речовин та їх вимивання

Зміна водного і повітряного режимів ґрунту під дією дренажу з часом впливає на всі інші процеси, які відбуваються в ньому. Цей вплив може бути як позитивним, так і негативним. Позитивним вважають створення сприятливих умов для аерації ґрунту й розкладання органічних речовин. Винесення водорозчинних речовин із ґрунту дренажними водами — негативне явище, що супроводжує осушувальні меліорації.

Аналіз агрохімічних властивостей ґрунту засвідчує, що дреновані ґрунти різняться більшою кислотністю, меншою сумою поглинених речовин (лугів) і зниженим ступенем насичення основами. Вміст поглиненого кальцію дещо вищий у недренованих ґрунтах, а рухомого алюмінію — в дренованих. Це означає, що в дренованих ґрунтах лужноземельні елементи вимиваються сильніше, ніж у недренованих (табл. 8.4).

Під дією різних чинників (фізико-географічних, фізико-хімічних, біологічних, штучних) дренажними водами вимиваються поживні речовини. Дія цих чинників комплексна, однак міра впливу кожного з них у конкретній обстановці неоднакова (табл. 8.5).

До фізико-географічних чинників належать ґрунтовий покрив, рельєф і кліматичні умови.

Таблиця 8.4. **Хімічний склад дренажних вод залежно від типу ґрунту,** мг/л

Іон	Дерново-сильнопідзолистий ґрунт (Клайпедський р-н)	Дерново-середньопідзолистий ґрунт (Скуодаський р-н)	Дерново-карбонатний ґрунт (Біржайський р-н)
Ca^{2+}	28,0	89,2	118,2
Mg^{2+}	5,8	21,5	35,2
K^{+}	1,5	1,6	1,3
Na^{+}	3,4	2,4	2,6
HCO_3^-	22,6	312,0	445,7
SO_4^{2-}	56,7	39,9	69,2
Cl^-	14,1	12,0	5,3
NO_3^-	7,7	4,8	3,1
Всього	139,8	483,4	680,6

Таблиця 8.5. **Мінеральний склад дренажних стічних вод**

Дата відбирання проби	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^{+}	K^{+}	Сумарний вміст
08.03	1,7	7,4	37,4	23,8	13,0	5,5	2,7	7,8	99,1
13.03	1,8	11,0	41,8	32,9	19,0	6,1	2,5	7,2	122,3
03.04	0,5	18,1	44,2	172,0	47,1	18,2	5,8	7,0	312,9
15.04	3,0	36,9	25,4	356,8	90,2	29,2	11,3	3,0	55,8
08.05	4,2	20,7	57,1	451,4	102,2	40,2	10,8	1,0	694,8

Рельєф впливає на умови водообміну, що визначає мінералізацію і хімічний склад дренажних вод. Залежно від рельєфу розподіляються атмосферні опади. На підвищеннях і схилах поверхневий стік посилюється. У пониззях він сповільнюється, що спричинює підвищену інфільтрацію води в ґрунт і збільшує надходження води в дренажну мережу. Тому в таких місцях інфільтрація води в дрени відбувається інтенсивніше, ніж на рівному полі, де атмосферні опади дуже рідко призводять до формування поверхневого стоку. В понижених місцях рельєфу атмосферна і поверхнева вода, що потрапила в дренажну мережу, має нижчий ступінь мінералізації, ніж звичайна дренажна вода на рівнинних полях.

Кліматичні умови — один з найважливіших чинників, що формує загальний фон для розвитку процесів, які впливають на якісний склад вод.

Дренажний стік у весняний період розпочинається ще до повного відтавання ґрунту. Спочатку в дрени потрапляє слабкомінералізована вода талого снігу. Вона ще слабко промиває товщу ґрунту і рухається до дрени тріщинами. Через низькі температури ґрунту і

дренажної води, а також недостатній контакт води з мерзлим ґрунтом розчинення солей кальцію, натрію та інших елементів утруднене. Тому напровесні води дренажного стоку мають низький ступінь мінералізації.

Рослинність — важливий чинник формування хімічного складу дренажних вод. Відомо, що кількість та інтенсивність транспірації води залежить також від виду рослин. Транспіруючи велику кількість вологи, рослинність впливає на хімічний склад ґрунтових розчинів. У результаті вибіркового поглинання іонів рослинами можуть змінюватись pH і гідрохімічний склад ґрунтового розчину. Вибірковість рослин полягає в тому, що окремі їх види здатні поглинати з розчину і накопичувати у своїх тканинах велику кількість певних хімічних елементів. Так, на полі кормових бобів концентрація нітратів у дренажних водах становила 14,5 – 41,6 мг/л, а під багаторічними травами — лише 0,5 – 1,0 мг/л. Сільськогосподарські культури впливають і на динаміку вимивання з ґрунту інших поживних речовин.

Мікроорганізми відіграють важливу роль у процесах метаморфізації хімічного складу дренажних вод. Їх склад і розподіл у дренажних водах вивчені недостатньо. Мікроорганізми вливають на хімічний склад дренажних вод у результаті збільшення в ґрунтовому розчині концентрації вуглекислого газу, який виділяється під час дихання організмів і життєдіяльності кореневої системи.

Удобрення на осушених гончарним дренажем ділянках внесення добрив у ґрунт є одним з основних чинників, що впливає на хімічний склад дренажних вод. У разі внесення великих доз добрив, у тім числі мінеральних, властивості дренажних вод та їх концентрація різко змінюються. Ці зміни відбуваються не тільки за рахунок надходження водорозчинної частини добрив, а й їх взаємодії з твердою фазою ґрунту — його вбирним комплексом. У результаті значно підкислюється ґрунтовий розчин і збільшується рухливість низки елементів ґрунтотворення.

8.2. Визначення проектних параметрів гончарного дренажу

Під час вибору основних параметрів дренажної системи дуже важливо правильно відобразити вплив різних природних чинників. Параметри дренажу можна визначати за даними польових досліджень, за результатами лабораторних досліджень або на основі аналітичних розрахунків за відповідними теоретичними формулами.

У разі проектування осушення мінералізованих земель відстань між дренами можна знаходити за номограмою, складеною на основі даних наукових досліджень і накопиченого виробничого досвіду.

Знаючи властивості ґрунту, будову його профілю і динаміку ґрунтових процесів на фоні дренажу, можна запропонувати ефективні заходи поліпшення ґрунтів і підвищення їх родючості. Це насамперед систематичне збагачення ґрунту на органічну речовину і закріплення її в профілі кальцієвмісних сполук (вапно, фосфорити, гіпс та ін.), внесення науково обґрунтованих доз мінеральних добрив, розпушування ілювіального горизонту з одночасним внесенням кальцієвмісних сполук чи штучних структуроутворювачів.

За використання торфу і торфових ґрунтів треба враховувати елементарний склад органічної і мінеральної частин твердої фази, ступені розкладання і гуміфікації органічної частини, вміст зольних елементів. Осушення і сільськогосподарське використання осушених торфових ґрунтів супроводжується їх осіданням. Це пояснюється спочатку зневодненням, а згодом — дедалі зростаючими біохімічними процесами, які призводять до зменшення вмісту органічної речовини і твердої фази ґрунту.

Щоб надати вбирному комплексу торфового ґрунту здатності накопичувати сполуки калію, фосфору та інших елементів живлення рослин, треба збагачувати мінеральну його частину внесенням піску, глини і лесу.

8.3. Агроекологічні проблеми інтенсивного землеробства на осушених землях

Мабуть жоден з аспектів природовикористання не викликав такої поляризації поглядів і такої пристрасті в їх відстоюванні, як проведення меліоративних робіт. Меліорація в широкому розумінні — це поліпшення земель найрізноманітнішими способами. Суть її — усунення або обособлення тих чи інших небажаних ґрунтових характеристик, що лімітують їх виробничу здатність. Останнім часом функції великомасштабних меліорацій розширюються до кардинального поліпшення агроекологічної обстановки на рівні ландшафтів, районів, басейнів річок і навіть регіонів. За допомогою меліорацій змінюють у бажаному для господарського використання напрямі ґрунт і його родючість, водний, повітряний і тепловий режими території, мікроклімат та інші ресурси. Вона забезпечує різке підвищення ефективності використання природних ресурсів відповідно до вимог народного господарства. Водночас треба усвідомлювати, що водна меліорація, усуваючи нестачу чи надлишок води у ґрунті, може погіршувати інші його агрономічно важливі якості. Ці зміни специфічні для окремих ґрунтів, відбуваються з різною швидкістю, часто виявляються лише через кілька років. Загальними причинами є не тільки незадовільна якість меліоративних заходів, а й їх

надмірна уніфікація у межах відповідних агроґрунтових зон, неврахування строкатості ґрунтів і підстильних материнських порід, характерних особливостей конкретних ландшафтів і полів.

Зональні нормативи можуть бути лише орієнтиром, а не основою для прийняття практичних рішень.

Крім того, через незадовільне врахування в меліоративних проектах особливостей структури ґрунтового покриву нерідко в масиви мінеральних ґрунтів потрапляють значні площі ґрунтів, які не потребують осушення. Тому при складанні проектів осушення мінеральних ґрунтів треба більш диференційовано підходити до меліоративної оцінки території, яка потребує лише часткового осушення, обґрунтованіше встановлювати ступінь перезволоження ґрунтів і доцільність їх осушення.

Меліоративні робити на мінеральних ґрунтах нерідко порушують їх гумусовий горизонт, що призводить до зниження родючості ґрунту, його строкатості. Для таких ґрунтів важливим є систематичне внесення підвищених норм органічних добрив, особливо в період первинного їх освоєння. Під час розробки проектів осушення треба також всебічно враховувати можливі його наслідки для сусідніх територій. За характером впливу на ґрунти меліорацію поділяють на «м'яку» і «жорстку». Суть «жорстких» меліорацій полягає у свідомому виведенні ґрунтів із системної рівноваги з метою подальшої її стабілізації на новому, вищому продуктивному рівні.

Осушувальна меліорація належать до «жорстких», і системне протиріччя закладене в самій її природі. З одного боку, вона збільшує не тільки продуктивність землеробства, а й небезпеку для природного середовища і людини, з другого — створює реальні матеріальні передумови для їх нейтралізації і регулювання.

Із цього внутрішнього протиріччя осушувальної меліорації випливає її системна нестійкість і знижена здатність до саморегулювання ґрунтів, особливо в перші роки, необхідність обов'язкового науково обґрунтованого прогнозу наступної еволюції ґрунтів у зміненому природному середовищі. Тому проведення докорінних меліорацій треба вважати не закінченим актом, а початком тривалого процесу культурного ґрунтотворення і стабілізації природної рівноваги в нових умовах, що може тривати не одне десятиліття. Меліорацію правильніше розглядати як процес у часі, а не як одноразовий захід. У заболочених і болотних ґрунтах під виливом осушення різко підвищується рівень відкритості системи. Рідка фаза є основним чинником перенесення ґрунтових компонентів у біотичних (ґрунт — рослина) й абіотичних (ґрунт — ґрунтові води — дренажний стік) потоках. Взаємодія цих потоків спричинює біогенну акумуляцію сполук та елементів живлення в кореневмісному шарі ґрунту, а також перенесення їх у глиб ґрунтового профілю і частко-

вого скидання з дренажними водами у водоприймачі меліоративних систем.

У недренованих заболочених і болотних ґрунтах абіотичне винесення сполук та елементів живлення обмежене застійним характером водного режиму. Тут домінує переважно поверхневе скидання води, а разом з нею — розчинених речовин. Після осушення об'єм поверхневого стоку зменшується, дренажне внутрішньоґрунтове скидання збільшується. Інтенсифікація процесів аеробного розкладання органічної речовини дренованих ґрунтів і винесення мінеральних добрив призводить до збільшення концентрації ґрунтового розчину і до винесення солей з інфільтраційними водами. Це посилює евтрофікацію водних потоків і водоприймачів меліоративних систем, погіршує їх питні, рибогосподарські і, частково, зрошувальні якості.

Зміна природного середовища під впливом меліорації

Будівництво осушувальних систем змінює спрямованість та інтенсивність природних процесів у ґрунті і в приземному шарі атмосфери, а розподіл водних ресурсів приводить до того, що екосистема регіону набуває нових властивостей. Осушення слід розглядати не як спосіб відведення надлишку води і регулювання водного режиму ґрунту конкретної ділянки, а як засіб керування водним режимом взаємозв'язаних екосистем на басейновому рівні (басейн струмка, річки, озера).

У зв'язку з цим в кожному конкретному випадку проектування осушувальної системи треба проводити аналіз хоча б у трьох аспектах: яких напрямів можуть набувати природні процеси, яка їх інтенсивність та на якій відстані від об'єкта позначаться наслідки змінених природних процесів. Важче оцінити наслідки осушення у віддаленій перспективі, оскільки всі зміни природного середовища відбуваються в просторі і часі.

Осушувальна меліорація впливає на зовнішнє середовище прямо і побічно. Пряма дія — це видалення надлишку води і створення умов для ведення інтенсивного землеробства на осушених землях. Побічна дія пов'язана зі зміною запасів поверхневих і підземних вод у регіоні, рівнів ґрунтових вод на об'єкті і прилеглих землях, з об'ємами і характером випаровування з водної поверхні і ґрунту, температурним режимом ґрунту, ходом і можливими змінами спрямованості ґрунтотворного процесу (особливо при осушенні торфових боліт і пересушенні мінеральних заболочених земель внаслідок однобічного скидання води), зміною флори і фауни.

Деякі чинники у часі змінюються дуже повільно (наприклад, осідання і вироблення торфу, зміна рослинності на прилеглій терито-

рії). Зміни у просторі нерівномірні і залежать від зони впливу меліорованих систем. В основному виділяють три зони впливу: перша включає всі осушені землі об'єкта, в другу входять немеліоровані землі в межах першої зони із середніми позначками на 1 м і вище від середніх позначок осушеної території та зовнішньою формою у вигляді горбів і пасм, у третю — прилеглі до осушувальної системи землі, на яких після осушення можливі істотні зміни водного режиму кореневмісного шару через зниження рівня ґрунтових вод.

Осушення боліт і заболочених територій неминуче пов'язане з чинниками, на які має подіяти меліоративна система, — це рівні ґрунтових вод, витрачання і сезонні об'єми стікання води, режим вологості ґрунту. Від ступеня зміни цих чинників насамперед залежить позитивний чи негативний ефект впливу осушувальної системи на навколишнє середовище.

Осушення боліт призводить до зниження рівня підґрунтових вод не тільки на осушених, а й на прилеглих територіях.

За даними В.Е. Алексієвського, зниження рівня підґрунтових вод на прилеглих до осушувальних систем землях досягає 0,8 – 1,0 м за ширини впливу на Житомирському Поліссі 0,3 – 0,5 км, Київському — 0,5 – 0,6, Волинському 1,0 – 1,5 км. Зниження рівнів ґрунтових вод, як і зона впливу осушення, не залишаються стабільними в часі — вони мінімальні на початку вегетаційного періоду і максимальні наприкінці його. Це спричинено відмінністю умов живлення ґрунтових вод навесні і влітку, а також дренувальною дією осушувальної системи навесні, коли рівень води у водоприймачі високий і всі канали працюють у підпір води, і влітку, коли він знижується на 1,5 – 1,8 м. Загалом же вплив осушувальних систем на водний режим прилеглих територій виявляється не далі ніж на 2 – 3 км.

Під час осушення особливу увагу треба звертати на регулювання водно-повітряного режиму території, розміщеної на водорозділах. Зниження рівня підґрунтових вод тут зменшує дренажний стік і він важко піддається регулюванню. Активний шар ґрунту на водорозділах пересихає, оскільки тут залягають ґрунти здебільшого легкого гранулометричного складу, які піддаються виливу вітрової ерозії, втрачають і без того низькі запаси гумусу. Можливо, на частині осушених земель, розміщених на підвищеннях рельєфу, ґрунти пересушуються настільки, що рівень підґрунтових вод спускається нижче від позначки дна дренажних каналів. Водночас осушені землі, розміщені в заплавах річок та інших знижених елементах рельєфу, підтоплюються ґрунтовими водами. Все це призводить до недоотримання врожаю вирощуваних культур. У першому випадку землі потребують додаткового зволоження (дощування), у другому — захисту від затоплення і підтоплення за допомогою польдерних сис-

тем та вловлювальних каналів завглибшки до 2,0 – 2,5 м. За такої глибини вловлювальних каналів третя зона може поширюватись на 2,0 – 2,5 км від осушувальної системи.

З метою запобігання надмірному зниженню рівня ґрунтових вод на прилеглій території в посушливі періоди треба створювати підпірні споруди на нагірно-вловлювальних каналах для підіймання в них рівня води.

Разом зі створенням оптимального водно-повітряного режиму для сільськогосподарських культур осушувальні системи мають задовольняти природоохоронні вимоги. Найбільшою мірою їм відповідають осушувально-зволожувальні системи з самоточним осушенням і постійними джерелами води для зрошення (водойми, водосховища, стави, підземні води), а також з обвалуванням, що захищає від паводкових вод і застосуванням механічного водопідіймання в заплавах річок.

Осушення і введення в інтенсивне сільськогосподарське використання боліт та інших перезволожених земель змінює умови формування гідрологічного режиму території, й за великих площ осушення неминуче відбивається на річковому стоку.

Великий внесок у наукове вирішення цієї проблеми зробив академік Е.В. Оппоков, який на основі аналізу стоку Дніпра та його приток за 32 роки довів, що зміна обводнення річок пов'язана не із землеробством, а з періодичними природними коливаннями клімату. Весь період із 1904 р. був маловодним в усіх країнах Європи. Він дійшов висновку, що річки живляться не з боліт, а з піщаних ґрунтів. Такої ж думки дотримувався К.Е. Іванов, який писав, що болота зменшують стік і збільшують випаровування, а причиною великої заболоченості Полісся є близьке залягання ґрунтових вод біля поверхні піщаних ґрунтів.

На основі отриманих даних М.І. П'явченко дійшов висновку, що болота не живлять річки, а самі існують за рахунок тієї ж ґрунтової води, яка їх живить. У вологі періоди року, коли вода не поглинається торфом, болота віддають річкам надлишок води, а в посушливі періоди вода з боліт у річки не надходить.

Під впливом осушення насамперед підвищується ступінь дренованості водозбірного басейну. Дослідженнями встановлено зв'язок заболоченості території з густотою річкової мережі (природну дренованість водозбору вимірюють довжиною річок, що припадає на одиницю площі).

Зниження рівнів ґрунтових вод на осушених землях призводить до збільшення кута нахилу стоку ґрунтових вод на прилеглій до них території, й отже, підземної складової річкового стоку, особливо в перші роки після осушення.

Під впливом осушення торф осідає й нахиляється в бік каналів і глибоких дрен, що сприяє поверхневому стоку.

Після осушення змінюються умови випаровування, що може впливати на річковий стік як позитивно, так і негативно залежно від комплексу природних умов, характеру рослинності, рівнів агротехніки та інших чинників. Випаровування за вегетаційний період з осушених торфовищ перевищує випаровування з мінералізованих земель і суходолів на 100 мм і більше. Проте ці втрати вологи компенсуються збільшенням припливу ґрунтових напірних вод.

Випаровування з осушених, але не освоєних низинних боліт значно менше, ніж із неосушених. У разі вирощування сільськогосподарських культур сумарне випаровування ними наближається до випаровування з неосушеного болота. За вирощування багаторічних трав випаровування навесні та на початку літа перевищує випаровування з неосушеного болота, але після скошування трав воно різко зменшується. За даними В. Шебеко, в результаті осушення і сільськогосподарського освоєння низинних боліт Білоруського Полісся випаровування з них збільшилось на 13 %, але середньорічний об'єм стоку не зменшився, а за рахунок дії інших чинників збільшився на 12 – 14 %.

Вплив осушення на випаровування визначається характером сівозмін, співвідношенням площ, зайнятих різними за впливом на випаровування культурами. Воно може значною мірою компенсуватися і навіть перекриватися конденсацією вологи на поверхні ґрунту в нічні години. Крім довжини річкової мережі, на величину стоку впливають глибина каналів і закладення дрен. Чим глибші канали, тим сильніше виявляється їх регуляційний вплив на стік, на його підземну складову.

Важливим компонентом осушувальної меліорації є регулювання русел річок з метою зниження в них рівнів води і збільшення пропускної здатності для приймання її з осушувальної системи.

Для забезпечення регулювання стоку річок треба вжити низку заходів: випрямити русла річок, розчистити, поглибити, розширити, обвалувати їх, відрегулювати річковий стік у верхів'ях річок та на їх притоках, забезпечити можливість перекидання частини стоку в іншу річку або в нижню течію тієї ж річки (біфуркація потоку). Всі ці заходи призводять до змін у річковій системі і природному середовищі.

Регулювання русел річок, особливо їх випрямлення, змінює динаміку стоку і режими паводків. Внаслідок цього горизонти води в річках підвищуються, особливо при їх обвалуванні, збільшується швидкість руху води. В межах осушувальної системи тривалість і висота паводків визначається розрахунками при їх проектуванні і регулюється, а от нижче від осушуваних масивів зростає загроза

паводків. Щоб запобігти цим негативним явищам, рекомендується проводити обвалування русел річок і їх регулювання до тих місць, нижче від яких паводки не є небезпечними. Крім того, розчищення русел і поглиблення річок призводить до зниження їх рівнів за тієї ж обводненості, але вода тече швидше і при менших глибинах, що погіршує рекреаційне значення річок. Щоб запобігти цим негативним явищам, регулювання русел річок не рекомендують проводити за ширини заплави менш як 300 м і близько від населених пунктів.

Із природоохоронною метою найперспективніше застосовувати штучну біфуркацію русел, яка полягає в додатковому спорудженні поряд із річковим руслом каналу, по якому скидають частину річкового стоку. Максимальні кількості води можна пропускати річкою й каналом, а меженні — тільки річкою, що збереже її рекреаційне значення.

Осушення ґрунтів, особливо торфових, значно змінює їх температурний режим. Це зумовлено тим, що зі зниженням вологості і щільності торфу співвідношення між його твердою, рідкою і газуватою фазами змінюється різкіше, ніж у мінеральних землях. Освоєння й окультурення торфових ґрунтів сприяє підвищенню їх теплопровідності, хоч вона залишається тут значно нижчою, ніж мінеральних ґрунтів. За однакових умов глибина промерзання осушених боліт приблизно в 2 рази більша, ніж неосушених, і в 2 – 4 рази менша, ніж мінеральних ґрунтів суходолів.

Осушення мінеральних ґрунтів поліпшує їх тепловий режим і мікроклімат. Встановлено, що навесні температура дренованих ґрунтів на 1 – 5 град вища, тому їх можна обробляти на 5 – 10 днів раніше. Осушення забезпечує подовження вегетаційного періоду на 15 – 30 днів, ґрунти стають доступнішими для теплолюбних культур. Сумарне випаровування з них на 10 – 15 % менше, ніж із недренованих.

Формування рослинного покриву пов'язане з ґрунтовими умовами, насамперед зі зволоженням ґрунтів. Після осушення боліт і пов'язаного з ним зниження рівнів ґрунтових вод і вологості верхнього шару торфу гідрофільна рослинність, не пристосована до вже автоморфних ґрунтів, швидко відмирає. Її поступово змінює ксерофільна рослинність.

В разі осушення й освоєння боліт зменшуються ареали холодостійких і вологолюбних видів. Їм на зміну приходять помірно теплолюбні і посухостійкі види. Під час трансформування природних угідь у сільськогосподарські зникають осокові, осоко-гіпнові, осоко-злакові, різнотравні та інші угруповання, проте біологічна продуктивність сільськогосподарських угідь на осушених болотах у багато разів вища, ніж вона була до осушення.

Наукові дані щодо впливу осушення на продуктивність лісів дуже суперечливі. І.К. Паламарчук дійшов висновку, що в результаті осушення боліт Полісся України знизилась продуктивність лісів, особливо вільхових, на прилеглих територіях, в деяких місцях вони навіть всохли, збільшилась небезпека пожеж, змінились типові лісова і лісо-болотна флора й фауна. За його даними, через 5 – 6 років після осушення лісових боліт урожайність журавлини знижується в середньому в 10 разів.

Спираючись на узагальнені наукові дані, іншої думки дотримуються Б.С. Маслов та І.В. Мінаєв. Вони стверджують, що осушення поліпшує всі ліси, крім чорновільхових, які ростуть на болотах інтенсивного болотного живлення, та сосняків на верхових болотах.

В.І. Зернов зазначав, що твердження деяких учених про негативний вплив осушення на ліс погано аргументоване фактичними матеріалами й наводить дані, що під дією осушення на прилеглих територіях у чорницевих сосняках простежується тенденція до поліпшення росту дерев. У мохових сосняках протягом 10 – 15 років помічено погіршення росту на 15 % і зниження приросту лише в перші 5 років, а в наступні — приріст досягав початкових значень. Це засвідчує високу здатність кореневої системи сосни пристосовуватись до змінених умов живлення водою. Осушення дещо негативно впливає на посадки ялини, але більш згубно на них діють атмосферні посухи. В.К. Поджаров відмітив значний приріст деревини лісів болотного типу віком 40 – 50 років, які опинилися в зоні впливу осушення (завширшки 500 м) в умовах Білорусі. В Українському Поліссі найбільші площі відмираючих заболочених соснових насаджень у районах, де осушення не проводилось або щойно розпочалось. На жаль, превалює неправильна думка, що відмирання лісів спричинене осушенням, в той час як єдиними ліками для них є гідролісомеліорація.

У піднесенні господарського значення осушуваних боліт і лісів велика роль підвищення врожайності дикорослих ягід і грибів. Дослідженнями встановлено, що площа ягідників на осушеному болоті приблизно така ж або й переважає їх площу на неосушеному болоті. За даними Ю.Н. Іванова і В.П.Семенова, журавлина і буяхи після осушення боліт випадають, їм на зміну приходять чорниця, малина й ожина. Лісова малина уже на другий — третій рік після спорудження каналів утворює вздовж них зарості, оселяється на відвалах, кавальєрах і схилах.

Гриби не люблять сирих місць, особливо боліт. Вони ростуть на добре дренованих і багатих на поживні речовини ґрунтах. Тільки в посушливі роки на заболочених ґрунтах можна знайти підберезники і сироїжки. Внаслідок осушення боліт і заболочених земель врожайність грибів різко підвищується. За спостереженнями, про-

веденими у Фінляндії, урожайність грибів найвища там, де добре росте ліс.

Важливим природоохоронним заходом на осушених землях є створення лісових смуг. На осушених і розчищених від чагарників і дрібнолісся ділянках посилюється вітрова ерозія ґрунту. В разі використання осушених боліт під просапні культури іноді за сильного вітру виникають справжні чорні бурі, органічна маса при цьому виноситься в лісові масиви, озера й втрачається з полів. Кращими заходами проти вітрової ерозії є залуження не менш як 50 % осушених площ торфовищ, недопущення монокультури просапних, збереження окремих масивів, смуг і куртин лісу, а також лісонасадження вздовж каналів і шляхів. Заслуговує на увагу досвід щодо розміщення ґрунтозахисних смуг на осушених землях Білоруського Полісся. Тут лісові смуги висаджують по межах полів: основні — з довгих боків, допоміжні — з коротких.

На осушуваних болотних масивах високі мінеральні пасма й острови, які вклинюються в систему, можна використовувати для висаджування лісо-чагарникової рослинності.

Внаслідок здійснення гідромеліоративних заходів за рахунок осушення земель, видалення і трансформування лісо-чагарникових заростей, забору води з річок і озер та інших чинників змінюються умови проживання звірів і птахів.

Осушення боліт так само, як і вирубування лісів, створює умови для збільшення чисельності лосів, зайців-русаків, куріпок, але призводить до зменшення кількості інших видів — водоплавної птиці, білок, глухарів. Важливу екологічну роль відіграють відвали ґрунту і кавальєри вздовж каналів, які рано звільняються від снігу навесні, смуги кущів та дерев по межах полів за сільськогосподарської меліорації, які є постачальниками різного корму (ягоди, гриби, плоди листяних порід дерев), місцями гніздування птахів і схованок для диких тварин. Отже, при осушенні земель, змінивши умови проживання (мешкання) одних видів фауни, можна поліпшувати їх для інших. Як у рослинному, так і в тваринному світі після меліорації відбувається не збіднення, а зміна видів.

З метою зменшення негативного впливу осушення боліт на звірів, птахів та інших представників тваринного світу слід вживати комплекс заходів щодо їх охорони, основними з яких є створення ландшафтних, фауністичних, мисливських заповідників і заказників. На об'єктах, де є місця гніздування, годівлі і зимівлі птахів, меліоративні роботи проводяться в обмеженому обсязі.

У разі освоєння великих масивів у природному стані залишають частину земель (окремі лісові масиви, дерева, яри, фундаменти знесених будівель), малопридатні для сільськогосподарського використання ділянки як резервати. На них доцільно створювати штучно

заболочені ділянки приблизно з такою ж флорою і фауною, яка характерна для конкретних кліматичних умов у природному стані: ставки, канали, лісо-чагарникові насадження з'єднувати комунікаціями з метою забезпечення міграції тварин без перешкод. Осушення перезволожених земель за правильного його проведення на науковій основі пригнічує активність природних осередків інфекційних хвороб і, навпаки, за неправильного — здатне погіршити санітарно-гігієнічну обстановку.

Осушення боліт та інтенсивне їх сільськогосподарське використання неоднозначно впливає на зміну родючості ґрунту і може призводити до забруднення навколишнього середовища. В процесі сільськогосподарського освоєння осушених земель найбільших змін зазнають торфовища. Меліоровані торфовища з природних геологічних утворів із низькою природною родючістю трансформуються в торфові ґрунти з досить високим рівнем ефективної родючості. Однак цей процес супроводжується низкою негативних явищ, таких як вироблення торфу, погіршення теплових властивостей і температурного режиму ґрунту, розвитку ерозійних процесів.

У процесі сільськогосподарського використання мінералізованих ґрунтів на фоні гончарного дренажу можуть виникати небажані зміни їх складу та властивостей. До таких у ґрунтах легкого гранулометричного складу належать інтенсивна мінералізація і без того незначних запасів органічної речовини, підкислення ґрунтового розчину під дією внесених фізіологічно кислих мінеральних добрив, вимивання продуктів розкладання і рухомих форм мінеральних речовин дренажними водами. Дещо менше виражені ці процеси в осушених мінеральних суглинкових і глинистих ґрунтах. Значну роль відіграє також характер сільськогосподарського використання осушених земель.

8.4. Еколого-технологічні основи зрошення сільськогосподарських культур

Площа зрошуваних земель в Україні становить 2,45 млн га. В основному вони зосереджені в Степу — 2,1 млн га або 80 % загальної площі; у Лісостепу зрошується 356 тис. га, на Поліссі — 11 тис. га. Частка площі зрошуваних земель відносно сільськогосподарських угідь становить 8,4, орних земель — 12,8 %. В Автономній Республіці Крим зрошувані площі відносно площі ріллі становлять 29,2 %, в Херсонській обл. — 25,6, Запорізькій — 13,4, Дніпропетровській — 11,4, Одеській — 11,2, Миколаївській — 11,1, Донецькій — 9,4 %. На зрошуваних землях АР Крим та Херсонської обл. отримують близько 46 % усієї валової продукції рослинництва.

У Степовій і Лісостеповій зонах України зі щорічною сумою опадів 350 – 500 мм зрошення — найефективніший захід підвищення урожайності сільськогосподарських культур.

За високої культури зрошуваного землеробства не тільки отримують стабільні високі врожаї сільськогосподарських культур, а й забезпечують також розширене відтворення родючості ґрунтів. При цьому збільшується вміст рухомих форм калію і фосфору, стабілізується гумусовий баланс. Внаслідок створення оптимального для рослин водного режиму ґрунту істотно збільшується чисельність та активність мікроорганізмів, що забезпечує прискорене розкладання органічної речовини, в тім числі гумусу. Водночас ці ж умови сприяють і прискоренню процесу утворення гумусу, який є продуктом життєдіяльності мікроорганізмів в умовах достатніх кількостей органічних речовин і мінерального живлення.

Отже, за умов зрошення в ґрунті одночасно відбуваються два протилежно спрямовані процеси — прискорене розкладання та активне новоутворення гумусу й інших органічних речовин. Який із них стане домінуючим — залежить від меліоративних і агротехнічних умов.

Процес зрошення не тільки змінює агрохімічні властивості ґрунту, а й впливає на його фізичний стан. Проте гранулометричний склад його істотно не змінюється.

У процесі зрошення ґрунт дещо збагачується мулом, який приносить зрошувальна вода, відбувається часткове вимивання його з орного шару в глибші.

Застосування сучасних методів досліджень зрошуваних земель, проведення багатофакторних стаціонарних польових дослідів, які забезпечують комплексний підхід до вивчення змін, що відбуваються в процесі зрошення і є їх наслідком, дає змогу встановити закономірності, характерні для різних умов зрошення.

Результати досліджень засвідчують, що в зрошувальному землеробстві у зв'язку з інтенсивним застосуванням поливів, удобрення і засобів захисту рослин проступають нові закономірності взаємодії екологічних чинників.

Одним із найнебезпечніших наслідків зрошення є засолення земель. *Засолення*, як відомо, — це підвищення вмісту в ґрунтах легкорозчинних солей (карбонату натрію, хлоридів, сульфатів). Якщо воно спричинене засоленістю ґрунтотворної породи, принесенням солей ґрунтовими і поверхневими водами, то таке засолення називають *первинним,* або *залишковим*.

У природних умовах ґрунти засолюються внаслідок осідання солей із засолених ґрунтових вод, а також у результаті перенесення вітром ззовні (моря, океани, солоні озера).

Важливим джерелом солей у ландшафті, в тім числі у ґрунтових водах, є засолені материнські породи. На зрошуваних масивах таким джерелом солей можуть бути зрошувальні води.

Вміст у ґрунтах легкорозчинних солей несприятливо впливає на ріст і розвиток рослин. Урожайність більшості зернових культур знижується за електропровідності 4 – 6 мСм/см. Для овочевих і плодових культур ці величини значно нижчі (1 – 2 мСм/см). Негативна дія легкорозчинних солей на рослину пов'язана із взаємним впливом трьох різних чинників. Головну роль відіграє високий осмотичний тиск ґрунтового розчину, що призводить до погіршення поглинання вологи і мінеральних речовин рослинами. У зв'язку з цим на засолених ґрунтах рослини часто потерпають від посухи навіть за високої вологості ґрунту.

Другим чинником, який заважає нормальному росту рослин, є специфічна дія іонів Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, іноді NO_3^- і K^+. Коли в листках накопичується понад 0,5 % хлору і понад 0,2 % натрію (в розрахунку на суху масу), вони обгоряють, набувають бронзового забарвлення, виникають некрози. За наявності іонів HCO_3^- (сода), що зумовлюють лужну реакцію середовища, порушується нормальний розвиток більшості сільськогосподарських культур.

Третій чинник — різке погіршення фізичних властивостей ґрунтів за наявності катіонів натрію, що призводить до знеструктурення ґрунтів, погіршення їх водного і повітряного режимів. Негативний вплив засолення ґрунту на розвиток сільськогосподарських культур пов'язаний не тільки з підвищенням осмотичного тиску ґрунтового розчину, погіршенням водно-фізичних властивостей ґрунтів і несприятливим сольовим складом, а й з підвищеним вмістом сполук бору, що може досягати токсичного для рослин рівня — 0,3 – 1,0 мг/л. Найчутливіші до бору плодові культури.

Основний меліоративний захід, спрямований на підвищення продуктивності засолених ґрунтів, — промивання водою, завдяки якому за наявності дренажу з ґрунтового профілю вилучаються легкорозчинні солі (розчинністю понад 2 г/л). Крім того, на засолених ґрунтах треба висівати солестійкі види рослин.

Часто засолення відбувається через нераціональне зрошення. Цей процес називають *вторинним засоленням*. Ґрунти вважають засоленими, якщо вони містять понад 0,1 % за масою токсичних для рослин солей або понад 0,25 % солей у щільному залишку (для безгіпсових ґрунтів). Вторинного засолення можуть зазнавати природно засолені, залишково засолені, первинно незасолені чи глибоко розсолені ґрунти. Основний механізм цього процесу — внесення солей з поливними водами в розчиненому або завислому стані і випадання солей у ґрунтовій товщі з мінералізованих ґрунтових вод, рі-

вень яких при зрошенні часто підіймається. За недостатнього дренажу вторинне засолення може призвести до катастрофічних наслідків. Через накопичення великої кількості солей у ґрунтах великі масиви зрошуваних земель стають непридатними для землеробства і їх доводиться виводити із сільськогосподарського використання. За вторинного засолення істотно змінюється багато хімічних властивостей ґрунтів: одночасно з накопиченням легкорозчинних солей акумулюються гіпс і карбонати, що позитивно впливає на фізичні властивості ґрунтів; негативно змінюється склад ґрунтового вбирного комплексу, в якому іони Ca^{2+} заміщуються на іони Na^{+}, Mg^{2+}, зростає рухливість сполук калію, силіцію, заліза.

Вторинне засолення часто супроводжується забрудненням ґрунтів важкими металами, пестицидами, нітратами, сполуками бору. Всі ці речовини в районах інтенсивного сільськогосподарського використання потрапляють у ґрунт як із ґрунтових, так і зрошувальних вод.

Негативні наслідки зрошення часто спричинюються неякісною поливною водою. Розроблено систему параметрів допуску до використання води для зрошення, яка враховує ступінь небезпеки вод різного складу.

Важливою причиною засолення ґрунтів є підіймання рівня мінералізованих ґрунтових вод вище від певного критичного. Ґрунтова вода досягає його з наближенням капілярної зони до кореневмісного шару. Тривале утримання мінералізованих ґрунтових вод у кореневмісному шарі часто є причиною захворювань підземної частини рослин, що призводить до зниження врожаїв сільськогосподарських культур. Водночас значне зниження рівня ґрунтових вод, зумовлене дренажем, також може призвести до зниження врожаю вирощуваних культур. Тому треба підтримувати оптимальний рівень ґрунтових вод, який істотно змінюється залежно від типу ґрунтів, ступеня мінералізації ґрунтових вод, характеру їх засоленості, виду вирощуваних культур. Таку залежність встановлюють експериментально в конкретних природних умовах.

Для оцінки потенційної небезпеки вторинного засолення введено поняття — *критичний рівень ґрунтових вод*, за якого починається засолення кореневмісного шару ґрунту, що призводить до пригнічення і загибелі сільськогосподарських культур. Критичну глибину залягання ґрунтових вод $h_{кр}$ визначають за формулою

$$h_{кр} = h_{max} + a,$$

де h_{max} — найбільша висота капілярного підіймання води в досліджуваному ґрунті; a — глибина поширення основної маси коренів сільськогосподарських культур.

Досвід підтверджує, що чим вищий ступінь мінералізації ґрунтових вод, тим з більшої глибини відбувається засолення ґрунтів. У середньому за мінералізації ґрунтових вод 10 – 15 г/л критична глибина їх засолення становить 2,0 – 2,5 м. У разі застосування зрошення рівень ґрунтових вод слід підтримувати не вище від цієї позначки. Для запобігання вторинному засоленню потрібно обладнувати дренаж, проводити полив у суворій відповідності зі зрошувальними нормами, відводити мінералізовані ґрунтові води в дренажну мережу, застосовувати полив дощуванням, влаштовувати лісові насадження вздовж каналів.

Перевагу віддають канальному внутрішньоґрунтовому зрошенню. Для видалення солей із ґрунту вдаються до багаторазового промивання прісною водою. На солонцях і солонцюватих ґрунтах (із вмістом понад 5 – 10 % обмінного натрію) рекомендується застосовувати гіпсування або вносити відходи виробництва фосфорних добрив (фосфогіпс), проводити триярусну оранку для перемішування солонцевого горизонту з карбонатним. Значний ефект щодо зниження засоленості ґрунтів і продуктивного їх використання забезпечує вирощування солевбирних рослин, до яких належать буркун, лядвенець, пирій видовжений та ін.

Найбільшого підвищення продуктивності засолених ґрунтів досягають використанням комплексного методу меліорації, що включає застосування фосфогіпсу (15 т/га) у поєднанні з органічними добривами (60 т/га) на фоні глибокого розпушення.

Види поливів

У зрошуваному землеробстві застосовують різні види поливів, які мають неоднакове агроекологічне призначення.

Вологопозарядний полив здійснюють на полях із глибоким заляганням підґрунтових вод. Його завданням є створення в кореневмісному шарі ґрунту ще до сівби або до початку вегетації культури надійного запасу води, який використовуватиметься в процесі вегетації рослин. Норму поливу розраховують на зволоження шару ґрунту завтовшки 1,5 – 2 м з обов'язковим урахуванням при цьому кількості опадів, які можуть випасти за час від поливу до початку вегетації, та витрати води на випаровування і стікання за той самий час.

Вологопозарядні поливи проводять здебільшого восени. Такий полив сприяє поліпшенню температурного режиму ґрунту взимку, а це створює умови для доброї перезимівлі озимини, багаторічних трав, садів, виноградників.

Вегетаційні поливи є основним видом поливів, за допомогою яких підтримують сприятливий водний режим ґрунту у посівах

сільськогосподарських культур, садах, виноградниках протягом вегетаційного періоду. Застосовують їх у міру потреби відповідно до біологічних вимог культур і з урахуванням метеорологічних умов, що складаються на час вегетації.

Передпосівний полив має завданням створення оптимальної вологості верхніх шарів ґрунту для отримання своєчасних і дружніх сходів. Найчастіше його застосовують під озиму пшеницю на полях, де підґрунтові води залягають поблизу поверхні, а також навесні під кукурудзу, картоплю, деякі овочеві культури за дуже посушливої погоди. Поливна норма — 400 – 600 м^3/га.

Посадковий полив забезпечує приживання розсади овочевих культур. Проводять його під час висаджування й підсаджування розсади. Норма поливу дощуванням — 250 – 300 м^3/га, по борознах — 400 м^3/га.

Передоранковий полив застосовують здебільшого під післяжнивні культури, коли верхній шар ґрунту дуже пересушений, що перешкоджає проведенню доброякісної оранки. Іноді до такого поливу вдаються також восени, перед оранкою на зяб. Норма поливу — 400 – 600 м^3/га.

Удобрювальний полив проводять під час дощування як самостійний нормою до 100 м^3/га для підживлення рослин розчиненими у воді добривами або поєднують його з черговим вегетаційним поливом. Удобрювальний полив можна здійснювати і більшими ніж 100 м^3/га нормами, наприклад у разі зрошення стічними водами, які містять значну кількість поживних речовин.

Освіжні поливи призначені для боротьби з повітряною посухою. Їх проводять нормою 50 – 100 м^3/га в літні місяці в найспекотніші години дня, щоб підтримати рослинний тургор. Застосовують для цукрових буряків, овочевих та інших культур у найвідповідальніші фази росту рослин.

Промивні поливи мають за мету вимивання із засоленого ґрунту водорозчинних солей. Залежно від типу й ступеня засолення ґрунту мінімальні промивні норми води в умовах півдня України становлять 3500 – 4500 м^3/га. Здійснюють їх в осінній період.

8.5. Вапнування ґрунтів

Кислі ґрунти в Україні знаходяться переважно на Поліссі, в Лісостепу, Карпатах, Прикарпатті та Закарпатті. Вони займають близько 11 млн га угідь, у тім числі 4,4 млн га ріллі з pH < 5,6. Характеризуються низькою природною родючістю і несприятливими агротехнічними властивостями для вирощування багатьох сільськогосподарських культур, особливо кукурудзи, гороху, озимої пшениці, ячменю, цукрових і кормових буряків, люцерни, конюшини.

Випадання кислотних дощів, внесення хімічно й фізіологічно кислих добрив значно підкислюють реакцію ґрунтового середовища навіть традиційно нейтральних ґрунтів. Для забезпечення високих і стабільних урожаїв сільськогосподарських культур, відтворення родючості ґрунтів, зменшення коефіцієнтів накопичення радіонуклідів у рослинах обов'язковим агроприйомом має бути вапнування таких ґрунтів, що глибоко, різнобічно і тривало діє на ґрунт, поліпшує його фізичні, хімічні і біологічні властивості. При цьому знижується кислотність ґрунтового розчину, активується мікробіологічна діяльність, підвищується насиченість ґрунту основами, складаються сприятливі умови для мобілізації поживних речовин і раціонального використання мінеральних добрив. Вапнування поліпшує водний і повітряний режими ґрунтів, слугує джерелом кальцію для рослин, сприяє підвищенню врожайності культур: зерна озимої пшениці — на 2 – 5 ц/га, зеленої маси кукурудзи — на 50 – 60, коренеплодів цукрових і кормових буряків — на 40 – 50, сіна конюшини лучної — на 10 – 15 ц/га за одночасного поліпшення якості продукції. В травостоях луків і пасовищ збільшується кількість бобових компонентів. Особливо ефективні вапнякові матеріали за внесення їх під культури, чутливі до реакції ґрунтового розчину.

Різні рослини неоднаково реагують на ґрунтову кислотність і вапнування. Одні з них дуже чутливі, інші більш витривалі. У зв'язку з цим польові культури поділяють на такі групи:

1) люцерна, конюшина лучна, буряки цукрові і кормові, капуста, буркун — дуже чутливі до кислотності, потребують нейтрального або близького до нейтрального ґрунту (pH 6,2 – 7,0) і сильно відкликаються на вапнування;

2) пшениця, ячмінь, кукурудза, горох, боби, вика, турнепс, лисохвіст — потребують слабкокислого і близького до нейтрального ґрунту (pH 5,6 – 6,0), добре відкликаються на вапнування;

3) жито, овес, гречка тимофіївка переносять помірну кислотність ґрунту (pH 5,0 – 5,5), позитивно відкликаються на середні дози вапна;

4) картопля, льон, соняшник добре переносять помірну кислотність ґрунту (pH 5,0 – 5,5), страждають від надлишку кальцію, потребують вапнування невеликими дозами;

5) люпин, серадела малочутливі до підвищення кислотності (pH 4,5 – 5,0), мало потребують або й зовсім не потребують вапнування.

Для регулювання кислотності ґрунту застосовують різні меліоранти. Найчастіше це осадові породи, що складаються переважно з кальциту $CaCO_3$, доломіту $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ тощо.

Потребу ґрунтів у вапнуванні визначають за комплексом показників: ступенем кислотності ґрунту, ступенем насиченості його осно-

вами, гранулометричним складом, вмістом органічної речовини, ставленням культур сівозміни до реакції середовища.

Дозу вапна (т/га $CaCO_3$) визначають за гідролітичною кислотністю множенням її значення на коефіцієнт 1,5. Наприклад, за гідролітичної кислотності ґрунту 3 мг-екв/100 г ґрунту доза $CaCO_3$ становитиме $3 \cdot 1,5 = 4,5$ т/га $CaCO_3$.

Діючою речовиною вапнякового матеріалу є $CaCO_3$, тому для конкретного вапняку знаходять відсотковий вміст у ньому $CaCO_3$. Наприклад, якщо вапняковий матеріал містить 80 % $CaCO_3$, то його треба внести не 4,5 т/га, а більше:

$$\frac{4,5 \cdot 100}{80} = 5,62 \text{ т/га.}$$

Останнім часом для розрахунків норм вапна в Україні широко застосовують нормативний метод, за яким знаходять нормативи витрат $CaCO_3$ для зменшення pH_{KCl} ґрунту на 0,1:

$$Д = \Delta pH x,$$

де $Д$ — доза $CaCO_3$, т/га; ΔpH — різниця між оптимальним і фактичним значеннями pH_{KCl}; x — норма витрат $CaCO_3$, т/га, для зміщення pH на 0,1.

Норми витрат $CaCO_3$ для зменшення pH на 0,1 для різних ґрунтів наведено у довідниках, зокрема у збірнику «Нормативы расхода известковых материалов для сдвига реакции почвенной среды до оптимального уровня pH на различных почвах» (Госагропром СССР, 1986).

Ефективність вапнування великою мірою залежить від м'якості помелу. Часточки, більші за 1 мм, практично не діють на ґрунт і рослини. Тому вапнякові матеріали слід подрібнювати на тонкі фракції і пропускати крізь сито з отворами 1 мм.

Основна вимога до вапнякових матеріалів — рівномірне їх внесення з наступним ретельним перемішуванням із ґрунтом за допомогою плугів, дисків, культиваторів. Найефективніша дія вапнякових матеріалів — на 2 – 3-й рік після їх внесення. Оскільки сільськогосподарські культури по-різному ставляться до реакції ґрунтового розчину, вапно у ґрунт вносять із таким розрахунком, щоб його максимальна дія виявлялась на культурах 1- і 2-ї груп, які сильно і добре відкликаються на вапнування, і меншою мірою — на культурах 3 – 5-ї груп.

У зерно-льоно-картопляних сівозмінах Полісся вапнякові матеріали вносять під картоплю, льон та люпин, оскільки їх ефективність у перший рік внесення незначна.

У Лісостеповій зоні найкраще вносити вапно під попередники тих культур, які дуже добре реагують на вапнування. Добрі результати дає внесення вапна з осені безпосередньо під цукрові буряки.

Середня періодичність вапнування в різних регіонах України різна: у Прикарпатті, Карпатах і Закарпатті — 4 – 6 років, на Поліссі — 6 – 7 років, у Лісостеповій зоні — 6 – 9 років. Для визначення потреби ґрунтів у повторному вапнуванні проводять додаткове агрохімічне обстеження і встановлюють кислотність ґрунту. Отримані результати порівнюють з оптимальними показниками для конкретних культур. Строки повторного вапнування можна визначити і за балансовими розрахунками.

8.6. Агролісомеліорація

Раціональне використання, охорона і поліпшення природного середовища — актуальна проблема сучасності. Підвищення продуктивності сільського господарства значною мірою залежить від оптимального співвідношення, взаємодії та взаємовпливу лісоаграрних ландшафтів. Оптимізація ландшафтів за допомогою захисних лісових насаджень з метою підвищення родючості ґрунту і продуктивності сільськогосподарських угідь, раціонального використання біокліматичних ресурсів є головним завданням агролісомеліоративної науки на сучасному етапі.

В Україні майже 40 % орних земель охоплено ерозійними процесами і більш ніж половина потерпає від посух.

Щорічні втрати ґрунту від ерозійних процесів становлять близько 600 млн т, у тім числі гумусу — понад 20 млн т, щорічні сумарні втрати від ерозії перевищують 40 млрд грн.

Серед природних явищ на земній поверхні найбільшої шкоди завдають водна і вітрова ерозії ґрунтів. Систематичний змив і здування родючої частини ґрунту, розмив ґрунтів, втрата вологи, замулення водоносних джерел, руйнування споруд і комунікацій — далеко не повний перелік негативних наслідків цих складних процесів.

Агрономічна практика дедалі більше використовує багаторічні корисні властивості лісу для захисту і підвищення родючості ґрунтів, оптимізації умов вирощування сільськогосподарських культур, повернення раніше втрачених земель (сильно еродованих, порушених гірничодобувними роботами, пісків тощо) для сільськогосподарського використання.

Для боротьби з ерозією ґрунтів вживають організаційно-господарських, агротехнічних заходів, використовують гідротехнічні споруди.

Проте найбільш довготривалими й ефективними заходами протиерозійного комплексу є захисні лісові насадження. Система наса-

джень включає водорегуляційні, прибалкові і прияружні смуги, насадження на різних частинах балкових систем і схилах ярів.

Водорегуляційні лісові смуги завширшки 12,5 м влаштовують на схилах зі стрімкістю понад 2°, перпендикулярно до лінії стоку. На ділянках, де ерозія виявляється сильно, їх створюють на схилах зі стрімкістю понад 1°.

Прибалкові лісові смуги влаштовують по брівках балкових систем з інтенсивними береговими розмивами, а прияружні — вздовж великих ярів II і III стадій розвитку. Ширина смуг визначається інтенсивністю розмиву і може досягати 15 – 21,5 м, конструкція смуг щільна, з чагарниковим підліском.

В єдиному взаємозв'язаному комплексі лісові посадки зменшують швидкість вітрів, сприяють рівномірному розподілу снігу на полях, утепленню ґрунтів, поліпшенню їх водопроникності, вбиранню весняного і зливового стоку води.

Для боротьби із засухою й отримання високих врожаїв сільськогосподарських культур будують зрошувальні системи. Зрошення — один із найрадикальніших засобів збільшення врожаїв. Воно практично усуває ґрунтову засуху і створює сприятливі умови для росту рослин. Проте досвід ведення поливного господарства засвідчує, що одне лише зрошення не захищає сільське господарство від атмосферних засух і суховіїв, під дією яких за оптимальної вологості ґрунту урожай знижується на 30 % і більше.

Відомо, що на відкритих полях через інтенсивне споживання води сільськогосподарськими культурами рівновага між поглинанням води і витратою її рослинами на випаровування порушується. І хоча в ґрунті є достатньо вологи від поливу, коренева система рослин у дні із засушливою (суховійною) погодою не встигає подавати воду в надземні їх частини; створюється недостатнє обводнення тканин, порушується водне і повітряне живлення, що призводить до зниження врожаю.

На полях, захищених лісовими смугами, в результаті поліпшення мікроклімату ці чинники значно ослаблюються. Поліпшення водного режиму рослин активує фотосинтез і перебіг синтетичних процесів. Все це позитивно впливає на ріст сільськогосподарських культур і формування врожаю.

Зрошувальне землеробство може бути високоефективним тільки в разі здійснення комплексу меліоративних заходів, де важлива роль належить захисному лісорозведенню, основою якого є система взаємодіючих насаджень: полезахисних лісових смуг і алейних насаджень вздовж постійних шляхів, лісових смуг на межах зрошуваних земель із ділянками інтенсивної ерозії, осередками пісків, що розвиваються далі; лісові захисні смуги навколо ставів та інших водойм; лісові смуги на ділянках лиманного зрошення й обвалованих

площах у заплавах річок; лісові смуги навколо і всередині садів; лісові смуги на культурних зрошуваних пасовищах; посадки дерев біля насосних станцій, населених пунктів тощо.

Піщані землі й борові піски займають в Україні, особливо на Поліссі значні площі (понад 1 млн га).

Першим етапом комплексного освоєння пісків є створення захисних лісових насаджень. Вони закріплюють піски, поліпшують ландшафти, сприяють ширшому використанню прилеглих пісків і веденню стабільного землеробства, відновленню екологічної рівноваги, порушеної пасовищною дегресією, і тим самим залучають непридатні (кинуті) землі до розряду продуктивних. Крім того, розведення лісу на пісках з метою отримання деревини — економічно вигідна справа. Рентабельність лісогосподарського виробництва (лісовирощування, переробка деревини, хвої та ін.) у лісгоспах на піщаних землях досягає 20 – 40 % і більше.

Кращими породами для заліснення в Лісостеповій і Степовій зонах є дуб звичайний, береза, клен гостролистий, а на Поліссі — береза, сосна звичайна.

8.7. Оптимізація землекористування

Ґрунти мають особливе значення в природних ландшафтах і в екосистемі. Вони є дуже важливим компонентом екосистем, чинником родючості для рослин і власне насиченим організмами середовищем життя. Уявлення про ґрунт як самостійне природне тіло з особливими властивостями сформувалося наприкінці XIX ст. завдяки працям В.В. Докучаєва — основоположника сучасного ґрунтознавства. Він наголошував, що ґрунт є природно-історичним тілом зі своїми взаємозв'язками, закономірностями існування і можливостями саморегуляції.

Земельний чинник, як і повітря, вода, біосфера, сонячна енергія, — є найважливішою складовою навколишнього природного середовища. Земна твердь (суходіл) виконує багато необхідних і незамінних функцій. Насамперед земля є місцем оселення і проживання людей та переважної більшості видів рослинного і тваринного світу, інших живих організмів. Вона створює необхідні матеріальні умови для життєдіяльності та відпочинку людини, є важливим, а для деяких видів діяльності (сільське і лісове господарство) — основним засобом виробництва і водночас предметом праці, чинником біологічної продуктивності, базою продовольчих і сировинних ресурсів.

Як уже зазначалося, поверхневий родючий шар земної кори, утворений під сукупним впливом зовнішніх чинників (тепла, води,

повітря, рослинних і тваринних організмів, особливо мікроорганізмів), називають *ґрунтом*. Чинниками ґрунтотворення є також рельєф і діяльність людей. Живі організми сприяють розвитку основної властивості ґрунту — родючості.

Родючістю ґрунту називають його властивість забезпечувати рослини необхідною кількістю поживних елементів, води і повітря. Ґрунт — основа для отримання врожаю сільськогосподарських культур, головне багатство, від якого залежить наше існування, основний засіб сільськогосподарського виробництва.

Ґрунт — дуже важлива ланка колообігу речовин у природі. Саме в ньому розпочинається біологічний колообіг, поглинаються мінеральні елементи і волога рослинами, саме тут замикається колообіг діяльністю організмів-редуцентів. У цій важливій ланці екосистеми не тільки вивільняється, а й тривалий час акумулюється частина енергії та хімічних елементів, насамперед у детриті і гумусі, а також в інших структурах вбирного комплексу.

Важливе значення ґрунту як санітарного бар'єра. Ця його властивість пов'язана з високою насиченістю живими організмами, які сприяють надходженню речовин у ланцюги живлення, після чого включаються в колообіг. Очисне значення ґрунту залежить від його фізичних і хімічних властивостей. Це потужний фільтр для очищення вод і водних розчинів, здатний зв'язувати хімічні елементи і сполуки завдяки своїм вбирним властивостям. Ґрунт різниться високими буферними функціями, здатністю протистояти навантаженням, він здатний накопичувати і тривалий час зберігати інформацію про екосистеми. Ця інформація передусім фіксується в генетичних горизонтах, а також у властивих йому структурах, які називають новоутвореннями, або включеннями. Вона зберігається упродовж тисячоліть. Отже, за виразом В.В. Докучаєва, «*ґрунти — дзеркало ландшафтів*».

Ґрунт є основою для створення продуктів харчування, забезпечує 95 – 97 % продовольчих ресурсів для населення планети. Однак його значення на сучасному етапі недооцінене. Як компонент біосфери він слугує для забезпечення екологічних ніш існування людини, тварин і рослин, середовищем, яке має великі буферність, енергоємність, значний резерв механізмів для самоочищення, дуже важливих для підтримання збалансованої взаємодії, прямої і непрямої, ґрунтової біоти і людини. Тільки ґрунт може забезпечити належні умови для виробництва продуктів харчування, корму для тварин. Невід'ємними функціями його як природного тіла є накопичення атмосферних опадів і регулювання водного балансу, концентрування елементів живлення рослин, утворення і забезпечення чистоти підземних вод, трансформування чи мобілізація забруднювальних компонентів.

Ґрунт знаходиться у постійній обмінній взаємодії з іншими елементами біосфери, залежить від їх стану і, в свою чергу, істотно впливає на суміжні елементи біосфери (атмосферне повітря, підземні й наземні води). На нього постійно діють компоненти клімату і погоди, флори і фауни. З антропогенним впливом на ґрунти пов'язані руйнування природних ландшафтів, збіднення видового різноманіття, різке зниження стійкості екосистем, їх продуктивності і біомаси. Вплив людини на земельні ресурси — основна причина зміни колообігу речовин на суходолі та між сушею й океаном, радіаційного і водного балансів і відповідно кліматичних параметрів. Наслідками знищення природних екосистем є збільшення твердого і хімічного стоку. Цими явищами спричинене замулення русел річок, погіршення якості води, що виявляється через евтрофікацію водойм і «цвітіння» води.

Практично будь-який вплив людини на ґрунт пов'язаний зі зміною його енергетичних параметрів, які є обов'язковою умовою функціонування ґрунту як саморегуляційної системи. Чинником накопичення і збереження енергії в ґрунтах є насамперед специфічна органічна речовина — гумус і живі організми. Будь-яке зменшення їх вмісту в ґрунтах знижує не тільки родючість, а й здатність до саморегуляції і стійкість. Підтримання й підвищення родючості ґрунтів потребує дедалі більшого вкладання в них енергії (під цим розуміють усі енергетичні затрати, пов'язані з обробітком ґрунтів, поповненням їх поживними речовинами у вигляді добрив, боротьбу з бур'янами і шкідниками тощо). Слід пам'ятати, що штучно внесена енергія на відміну від її природного вмісту в ґрунтах пов'язана з негативним впливом на ґрунт і на середовище, особливо, якщо її внесення перевищує допустимі норми. У примітивному господарстві, коли використовували природну родючість ґрунтів і проводили тільки простий їх обробіток, внесення енергії становило 2 ГДж/га на рік. У високоінтенсивному землеробстві щорічне внесення енергії зросло до 12 – 15 ГДж/га. Встановлено, що в разі додаткового внесення енергії 15 ГДж/га на рік виявляються шкідливі для ґрунтів і середовища наслідки (інтенсивна ерозія, змивання хімічних речовин у водойми, евтрофікація вод тощо).

Інше принципово важливе положення полягає в тому, що отримання кожної додаткової одиниці продукції потребує дедалі більшого внеску енергії. Наприклад, з початку XX ст. кількість енергії, що витрачається на отримання одиниці продукції, збільшилась у 8 – 9 разів. Таке порушення пропорційності між приростом отриманої продукції і вкладеної енергії дістало назву «*закон зниження енергетичної ефективності природокористування*». Додаткова енергія, яку вносить людина для отримання більшої кількості продукції, незначна порівняно з кількістю сонячної енергії. Так, середнє надхо-

дження енергії від сонця в помірних широтах становить 48 – 61 ТДж/га на рік. Відносно неї 15 ГДж енергії, яку вносить людина, становить лише 0,03 %. Це означає, що тут діє принцип лімітуючого чинника з максимальним значенням. У цьому разі реакція системи пов'язана з тим, що штучно внесена енергія діє як внутрішній чинник, а природна енергія сонця — як зовнішній. Це неминуче призводить до зміни структури системи, порушення колообігу речовин, заміни природної родючості на штучну.

Виділяють чотири головні причини деградації і знищення земель: ерозія, негативні наслідки зрошення, виснаження, відчуження.

Прогресуючі ерозійні процеси різко зменшують здатність до самоочищення, знижується родючість. Ґрунт як об'єкт охорони і контролю, а також із погляду гігієністів, має низку специфічних особливостей порівняно з іншими об'єктами навколишнього середовища. Перш за все ґрунт менш рухливий, ніж атмосферне повітря чи поверхневі води, тому не використовує такий потужний чинник природного самоочищення, властивий іншим середовищам, як розбавляння. Антропогенні забруднення, що потрапляють у тіло ґрунту, накопичуються, ефекти додаються.

Вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням традиційних технологій виснажує ґрунти, неминуче призводить до зниження їх родючості та деградації, а хімізація, що начебто компенсує втрати поживних речовин, порушує природну рівновагу, отруює поля й водні джерела і врешті-решт завдає значної шкоди природному середовищу, негативно позначається на якості продукції, й отже, на здоров'ї населення.

За властивостями земельні ресурси характеризують як вичерпні, обмежені і частково відновлювані. Водночас, за підрахунками вчених, площа земельних ресурсів у світі в розрахунку на одну людину щорічно скорочується на 2 %, а площа продуктивних угідь — на 6 – 7 %.

Ґрунт — самостійний природно-історичний, органо-мінеральний утвір, здатний до саморозвитку і самовідтворення, який забезпечує функціонування біосфери. Ці функції визначають роль земельного фонду країни як одного з найважливіших видів ресурсів економічного розвитку та найцінніші частини національного багатства.

Існування, соціальне благополуччя і здоров'я народу України нерозривно пов'язані з землею. Земельні ресурси, на використанні яких формується близько 95 % обсягу продовольчого фонду та 2/3 фонду товарів споживання, по праву вважають первинним чинником виробництва, фундаментом економіки України. Підраховано, що частка земельних ресурсів у складі продуктивних сил держави перевищує 40 %. Якщо в ресурсній забезпеченості соціально-

економічного розвитку України виробничим фондам й оборотним засобам належить 20 – 21 %, трудовим ресурсам — 38 – 39, то землі — 40 – 44 %.

Земельний фонд України характеризується високим біопродуктивним потенціалом, у його структурі переважають землі з родючими ґрунтами, що є основною базою землеробства країни. В нашій державі зосереджено майже 28 % світової площі чорноземів — найродючіших ґрунтів суходолу. За експертними оцінками, за раціональної структури й організації землекористування та відповідного наукового і ресурсного забезпечення Україна здатна виробляти продуктів харчування на 140 – 145 млн людей або прогодувати ще дві такі самі країни.

Проте ставлення до земельних ресурсів, рівень їх використання й охорони як в усьому світі, так і в Україні, поки що знаходяться не на належному рівні. Невпинно зростають території міст та площі забудованих земель за рахунок сільськогосподарських угідь. Збільшуються площі земель, порушених антропогенною діяльністю, особливо видобуванням корисних копалин. Масові вирубування лісів та лісозахисних насаджень, велика питома вага розораних земель, порушення агротехніки вирощування сільськогосподарських культур, проведення меліоративних робіт призводять до вітрової, водної, хімічної ерозії ґрунтів. Земля й досі залишається єдиним природним ресурсом, використання якого не лімітується.

За кваліфікаційною ознакою земельні угіддя України умовно поділяють на дві групи: сільськогосподарські, які використовують для виробництва сільськогосподарської продукції (рілля, сінокоси, пасовища, багаторічні насадження), і не сільськогосподарські, тобто землі, не залучені в сільськогосподарський обіг (ділянки під лісами, болотами, будівлями, шляхами, населеними пунктами, об'єктами промисловості, енергетики тощо).

В Україні надзвичайно високий рівень освоєння земель: до господарського використання залучено понад 92 % її території. Лише близько 5 млн га (~ 8 %) знаходиться у природному стані (болота, озера, річки, гори). 82 % земельних ресурсів є головним засобом виробництва сільського і лісового господарства, причому сільськогосподарська освоєність земель перевищує екологічно обґрунтовані норми. Якщо розораність території України (відношення площі ріллі до всієї території) становить 55,5 %, а сільськогосподарських угідь (відношення площі ріллі до площі сільськогосподарських угідь) — 82 %, то в таких областях, як Вінницька, Тернопільська і Кіровоградська — більше 90 %; в окремих районах цей показник понад 96 % (табл. 8.6). Екстенсивний характер має внутрішньогалузеве використання території: для внутрішньогосподарського будівництва, інших невиробничих потреб (під шляхи, про-

гони, вулиці, двори) відведено 5 – 7 % загальної площі продуктивних земель.

Таблиця 8.6. **Сільськогосподарське використання земельного фонду України**

Зона, область	Земельний фонд, тис. га						
	Всього	У тім числі сільськогосподарські землі	З них ріллі	Розораність, %	Переводиться ріллі в природні кормові угіддя і заліснення	Залишається ріллі в господарствах усіх категорій	Розораність, %
Степ	25 019,9	19 276,4	15 960,3	82,8	4859,7	11 100,3	58,1
АР Крим	2694,5	1829,3	1195,2	65,3	361,9	833,3	46,0
Кіровоградська	2458,8	2057,9	1851,1	90,0	591,4	1259,7	66,1
Дніпропетровська	3192,3	2535,4	2161,5	85,3	627,0	1534,5	670,1
Запорізька	2718,5	2261,9	1993,5	88,1	596,9	1416,6	62,8
Одеська	3331,3	2572,5	2096,8	81,5	645,3	1451,5	57,5
Миколаївська	2472,7	2075,9	1753,8	84,5	640,0	1213,8	58,2
Херсонська	2831,7	1978,8	1750,8	88,7	512,6	1238,2	62,8
Донецька	2651,6	2055,2	1690,0	82,2	555,2	1134,8	54,1
Луганська	2668,5	1914,5	1467,6	76,7	449,4	1018,2	52,8
Лісостеп	20 292,1	14 801,6	12 639,7	85,4	3623,1	9016,6	61,2
Вінницька	2651,4	2051,5	1858,2	90,6	539,7	1318,5	64,7
Київська	2893,6	1782,7	1492,1	83,7	400,0	1092,1	61,5
Черкаська	2092,1	1463,8	1314,6	89,8	369,1	945,5	65,3
Полтавська	2874,5	2202,0	1862,0	84,6	538,9	1323,1	60,4
Харківська	3140,7	2428,1	1997,3	82,3	569,1	1428,2	58,3
Сумська	2383,9	1749,1	1415,7	80,9	395,3	1020,4	58,2
Хмельницька	2062,9	1579,9	1394,6	88,3	438,0	956,6	61,2
Тернопільська	1382,4	1065,1	960,8	90,2	282,5	678,2	64,0
Чернівецька	809,6	479,4	344,4	71,8	90,5	253,9	55,3
Полісся	15 044,0	8324,0	5742,3	69,0	1632,1	4110,2	49,7
Чернігівська	3192,5	2175,7	1570,1	72,2	485,7	1084,4	50,0
Житомирська	2980,8	1700,9	1325,1	77,9	365,5	959,6	56,6
Рівненська	2005,2	947,1	669,0	70,6	194,7	474,3	50,1
Волинська	2014,4	1085,9	696,7	64,2	200,6	496,1	45,5
Львівська	2183,1	1294,8	864,5	66,8	244,0	620,5	48,2
Івано-Франківська	1392,7	633,4	422,6	66,7	113,4	309,2	49,3
Закарпатська	1275,3	486,2	194,3	40,0	28,2	166,1	36,8
Всього в Україні	60 355,0	42 402,0	34 342,3	81,0	10114,9	24 227,4	5,5

За даними вчених, в Україні треба збільшити площу луків і пасовищ у 2,7, а лісів — у 1,8 раза. Природні кормові угіддя забезпечують рентабельність м'ясо-молочного скотарства у світі. Вони вдвічі перевищують площі орних земель, а в Україні — навпаки, площа ріллі майже в 5 разів перевищує площу лукопасовищних угідь. На душу населення їх припадає в Україні в 6 разів менше, ніж у середньому в світі. Для порівняння: у ФРН цей показник становить 31,8 %, у Великій Британії — 18,5, КНР — 19,5, у США — 20 %.

Для оптимізації землекористування з урахуванням соціальних, економічних, енергетичних, матеріально-технічних та екологічних умов у найближчі 4 – 5 років необхідно зменшити площі землі в обробітку щонайменше на 10 млн га і перевести її в природні кормові угіддя, в тім числі близько 2 млн га — під заліснення.

Територія України найменше обліснена в Європі, нині лише 14,3 % її зайнято лісом за норми 25 %. Переведення ріллі в природні кормові угіддя і заліснення дасть змогу дещо оптимізувати структуру агроландшафтів, відновити порушене співвідношення між природними комплексами (ріллею, луками, лісом, водою), запобігти ерозійним процесам і негативному впливу посух, оскільки ліси і природні угіддя не лише самі не піддаються ерозії і посухам, а й зм'якшують жорсткість цих явищ на посівах сільськогосподарських культур. Перш за все в природні кормові угіддя і заліснення треба перевести ріллю на схилах стрімкістю 3° і більше (4329 тис. га), малопродуктивні землі (2,5 млн га), засолені ґрунти (457 тис. га), розорані землі гідрографічного фонду (1,5 млн га), землі довкола ферм великої рогатої худоби та поблизу населених пунктів для випасання худоби населення (~ 1 млн га) (табл. 8.7).

Отже, в Україні до 2010 р. залишаться найпродуктивніші землі в обробітку в господарствах усіх категорій 24 227,4 тис. га, або розораність становитиме 57,5 % сільськогосподарських угідь — найвища в Європі. До речі, станом на 01.01.2003 р. не оброблялося майже 7,0 млн га орної землі, її переведено в перелоги.

Через недосконаліть нормативів, незадовільний рівень проектно-технічних вирішень земельні ресурси використовуються нераціонально. Дуже висока питома землемісткість у промисловості, транспорті. Так, у хімічній промисловості на кожну умовну одиницю капіталовкладень припадає 6,6 га землі, в кольоровій металургії — 2,9, нафтопереробній галузі — 2,3, теплоенергетиці — 2,5, машинобудуванні — від 2,0 до 4,0 га. Надвисока землемісткість у гірничовидобувній промисловості — 42,9 га, промисловості кольорових металів — 30,0, чорних металів — 23,9, видобутку вугілля — 12,9 га на умовну одиницю капіталовкладень. Чинні офіційні нормативи відведення земельних ділянок для потреб промисловості, транспорту, енергетики в нашій країні в 2,5 – 2,7 раза перевищують нормативи, прийняті в країнах Західної Європи.

Таблиця 8.7. **Стан земельних угідь України**

Зона, область	Земельні угіддя, тис. га						
	Еродовані схили стрімкістю 3° і більше	Малопродуктивні землі	Водоохоронна зона	Засолені землі	Інші угіддя	Всього	Земля в обробітку, %
Степ	1777,5	1366,0	559,5	382,7	774,0	4859,7	30,0
АР Крим	51,5	95,6	25,2	130,0	60,0	361,9	30,3
Кіровоградська	286,2	94,5	41,4	0,7	168,6	591,4	26,5
Дніпропетровська	236,4	144,6	95,0	45,0	106,0	627,0	29,0
Запорізька	192,4	166,8	87,7	29,0	101,0	576,9	29,0
Одеська	422,9	88,1	57,3	27,0	50,	645,3	30,8
Миколаївська	119,7	231,2	77,1	21,0	91,0	540,0	30,8
Херсонська	14,8	255,8	57,0	83,0	102,0	512,6	29,3
Донецька	203,8	204,7	74,3	26,0	46,4	555,2	32,9
Луганська	350,2	84,7	44,5	21,0	49,0	449,4	30,6
Лісостеп	2011,0	684,9	415,2	44,0	468,0	3623,1	28,7
Вінницька	462,2	37,0	17,5	—	23,0	539,7	29,0
Київська	98,3	170,8	70,5	2,0	58,4	400,0	26,8
Черкаська	209,4	47,0	61,0	3,7	48,0	369,1	28,1
Полтавська	106,1	221,8	100,5	7,5	103,0	538,9	29,0
Харківська	297,1	101,0	67,0	30,0	74,0	569,1	28,5
Сумська	108,6	107,3	76,4	0,8	102,0	395,3	27,9
Хмельницька	410,0	—	—	—	28,0	438,0	31,4
Тернопільська	228,8	—	22,3	—	31,4	282,5	29,4
Чернівецька	90,5	—	—	—	—	90,5	26,3
Полісся	540,4	504,3	241,8	30,0	315,6	1632,1	28,4
Чернігівська	24,5	231,2	92,0	30,0	107,0	485,7	30,9
Житомирська	41,3	155,2	78,0	—	91,0	365,5	27,6
Рівненська	96,0	49,0	19,3	—	30,4	194,7	29,1
Волинська	67,4	63,9	21,1	—	48,2	200,6	28,8
Львівська	201,0	4,0	11,0	—	28,0	244,0	28,2
Івано-Франківська	93,4	—	9,0	—	11,0	113,4	26,8
Закарпатська	16,8	—	11,4	—	—	28,2	14,5
Всього в Україні	4328,8	2555,2	1216,5	456,7	1557,6	10 114,9	29,5

Землекористування нерозривно пов'язане з іншими аспектами природокористування: водоспоживанням, використанням лісових ресурсів, видобутком корисних копалин, рекреаційним та оздоровчим використанням тощо.

Отже, земля була і залишається основним, надійним ресурсом зміцнення економіки країни. Залучення в ефективний обіг земельно-ресурсного потенціалу та вдосконалення земельних відносин має бути пріоритетним напрямом соціально-економічного розвитку.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке меліорація? **2.** Які види сільськогосподарської меліорації ви знаєте? **3.** Назвіть методи і способи осушення перезволожених земель. **4.** Як впливає меліорація, особливо зрошення й осушення, на природне середовище? **5.** З якою метою проводять вапнування і гіпсування ґрунтів? **6.** Перелічіть основні заходи поліпшення осушених і зрошуваних земель. **7.** Яка роль агролісомеліоративних заходів у боротьбі з ерозією ґрунтів і засухою?




Розділ 9

ДИНАМІКА, РОЗВИТОК ТА СТІЙКІСТЬ АГРОЕКОСИСТЕМИ

Агроекосистема — одна з основних ландшафтотворних складових з інтенсивними прямими і зворотними зв'язками, тому оптимізація агроландшафту як одиниці таксономічно вищого рівня передує оптимізації агроекосистеми. Не можна говорити про оптимізацію агроекосистем, не оптимізувавши агроландшафт, і навпаки. Сільське господарство за характером впливу на навколишнє середовище є одним із потужних чинників.

Україна, керуючись результатами, здобутими Міжнародним форумом з навколишнього середовища, який відбувся у 1992 р. в Ріо-де-Жанейро і по праву вважається однією з найвидатніших подій XX ст., проголосила свої наміри щодо вибору сталого розвитку як стратегії на XXI ст. Ці наміри здійсненні тільки в разі прийняття концепції сталого розвитку агросфери, яка охоплює понад 70 % території нашої держави. Саме ця обставина посилює життєву важливість для України розробки і впровадження підходів формування стійких локальних і регіональних агроекосистем. Межею сталості (стійкості) агроекосфери до антропогенних навантажень є споживання 1 % чистої первинної продукції біоти. Проте нині, за оцінками фахівців, пряме споживання біопродукції становить 7 – 12 %, тобто в 10 разів перевищує критичну межу стійкості біосфери та її складових (таксономічних одиниць), що призводить до незворотного порушення балансу екологічних компонентів.

Баланс екологічних компонентів — це така їх комбінація, яка забезпечує екологічну рівновагу. В природних умовах екологічна рівновага досягається за рахунок здатності екосистеми до самозбалансування. В агроекосистемах відносна екологічна рівновага визначається умовами правильної сівозміни та екологічно збалансованого технологічного процесу вирощування сільськогосподарських культур.

9.1. Загальні поняття про динаміку та стійкість агроекосистеми

Стійкість агроекосистеми — це насамперед стабільність агрофітоценозу, що залежить від стабільності посіву сільськогосподарської культури, здатності агрофітоценозу протистояти комплексу зовнішніх і внутрішніх несприятливих умов росту й розвитку, забезпечувати отримання сталого врожаю рослинницької продукції.

У свою чергу, стійкість агрофітоценозу як передбачає, так і зумовлює стійкість вищим таксономічним екологічним формуванням, а саме — агроландшафтом, під стійкістю якого розуміють його здатність зберігати свою структуру й особливості функціонування за зміни умов середовища, антропогенного навантаження (сільськогосподарського виробництва). Оцінюють її виявленням стабільності якостей головних компонентів (ґрунту, води, рослинності, розподілу речовин, елементів живлення тощо).

Стійкість агроландшафту значно нижча, ніж природного ландшафту і потребує постійної цілеспрямованої технологічної підтримки людини.

Якщо агроекосистема має досить тісний аналоговий зв'язок з довкіллям, то вона значною мірою регламентується законом внутрішньої динамічної рівноваги, згідно з яким речовина, енергія, інформація та динамічні якості окремих природних систем, їх ієрархії тісно пов'язані між собою. Тому будь-яка зміна одного з показників неминуче призводить до функціонально-структурних змін інших, але при цьому зберігаються загальні якості системи: речовинно-енергетичні, інформаційні, динамічні. Наслідки дії цього закону виявляються в тому, що після будь-яких змін елементів природного середовища (речовинного складу, енергії, інформації, швидкості перебігу природних процесів), обов'язково розвиваються ланцюгові реакції, які намагаються компенсувати ці зміни.

Слід зазначити, що невелика зміна одного показника може спричинити значні відхилення інших і всієї екосистеми загалом. У разі перевищення певного критичного рівня розвиток і життєдіяльність екосистеми може набути неконтрольованого і нерегульованого її ко-

її кодовою програмою характеру. Цей стан можна схарактеризувати як екологічне зміщення. За певних умов система здатна повернутись у вихідний стан або ж еволюціонувати за новосформованою кодовою програмою, що зумовлено її мінливістю.

Мінливість екосистеми (агроекосистеми) — це властивість організмів набувати нових ознак або втрачати попередні під впливом різних чинників. Розрізняють мінливості окремих організмів, популяційну і зональну.

Згідно із законом єдності, між живим організмом і середовищем існують тісні взаємовідносини, взаємозалежність, взаємовплив, що зумовлюють їх діалектичну єдність. Біологічні системи будь-якого ієрархічного рівня є відкритими: для свого існування вони отримують із середовища речовини (хімічні елементи), енергію (сонячну, хімічну) та інформацію і віддають у середовище трансформовані речовину, енергію й інформацію. Таким чином вони діють на середовище і змінюють його. Це особливо важливо враховувати під час розробки заходів щодо переходу (часткового чи повного) на біологічне землеробство.

Зона екологічної толерантності

Толерантність — це здатність організмів витримувати відхилення чинників середовища від оптимального для рослинного організму рівня, характеризується конкретною ділянкою толерантності, тобто діапазоном дії екологічного чинника, у межах якого можливе існування організму, популяції, ценозу. Ця ділянка обмежена граничними мінімальними та максимальними значеннями чинника.

Характеристику екологічної стійкості організму можна доповнити його *екологічною валентністю*, під якою розуміють характеристику здатності виду існувати в різних умовах навколишнього середовища.

Екологічна сукцесія

Розвиток екосистеми в часі називають *екологічною сукцесією*, що є послідовною зміною однієї екосистеми іншою. Розрізняють первинну і вторинну сукцесії. Якщо розвиток починається на ділянці, яка перед цим не була зайнята відповідним угрупованням, — це *первинна сукцесія*, якщо ж у результаті дії сил (сінокіс, бурелом, сніголам тощо) екосистема докорінно змінюється і стає більш пристосованою до нових умов або повністю руйнується (вирубування лісу), а на її місці формується нова, більш пристосована до нових умов екосистема, то такий процес називають *вторинною сукцесією*.

Якщо в процесі розвитку в екосистемі збалансовуються всі її ланки, то екосистему називають *клімаксовою*. Отже, клімаксова стадія настає внаслідок зміни екосистем у процесі їх розвитку. Ланки екосистем, що змінюють одна одну, утворюють сукцесійний ряд, або серію. У сукцесійному ряду кожна екосистема — це відповідна стадія у формуванні кінцевого, так званого клімаксового угруповання, яке є немовби завершальною стадією в розвитку екосистеми.

У клімаксовій екосистемі, на відміну від угруповань, що розвиваються (природа молода), практично відсутній річний приріст органічної речовини, бо вона майже повністю використовується в метаболічних процесах цієї екосистеми, тобто в клімаксовій екосистемі енергія не витрачається на продуктивність і дихання. Тому екосистема переходить у більш-менш стабільний, гомеостатичний стан.

Слід зазначити, що природна зміна екосистеми призводить до так званої завершальної стадії рівноваги, яка є динамічною, між кліматом, геоморфологічними особливостями та ґрунтом і зберігається доти, доки не змінюються зовнішні умови. Останні можуть змінитись тоді, коли автотрофний компонент почне руйнуватись.

Кількість енергії, що витрачається на підтримання стабільності екосистеми, в міру наближення її клімаксової стадії збільшується.

Сукцесію можна схарактеризувати співвідношенням валової продукції і дихання.

У молодому віці валова продукція формується так, що рівень первинної продукції, або видимий фотосинтез (*П*), перевищує рівень дихання угруповання (*Д*), тому співвідношення $\frac{П}{Д} > 1$. Коли видимий фотосинтез (первинна продукція) більший за кількість енергії, що витрачається на дихання, то це показник екосистеми, яка розвивається.

В міру розвитку екосистеми відношення енергії, нагромаджуваної в процесі фотосинтезу (первинна продукція), до енергії, витраченої на дихання, наближається до одиниці, тобто у зрілих екосистемах простежується тенденція до встановлення рівноваги між зв'язаною енергією у вигляді органічної речовини та енергією, що витрачається на підтримання екосистеми (дихання).

Отже, співвідношення процесів фотосинтезу і дихання може бути функціональним показником відносної зрілості екосистеми. Загальний врожай органічної речовини максимальний на зрілих, або клімаксових, стадіях розвитку екосистеми, а чиста її продукція, або врожай за річний цикл (приріст за рік), значно більша на ранніх стадіях розвитку і значна або наближається до нуля в зрілій екосистемі. Тобто на ранніх стадіях розвитку екосистеми на дихання енер-

гії витрачається значно менше, ніж її нагромаджується в процесі фотосинтезу. В результаті спостережень за екологічними процесами встановлено деякі особливості зміни екосистеми в певному напрямі незалежно від типу сукцесії. Ці зміни спрямовані так, що лінійні трофічні панівні ланцюги з переважанням травоїдних замінюються на складні трофічні розгалуження, в яких домінують здебільшого детритні форми. Екологічні ніші звужуються й дедалі більше спеціалізуються: розміри організмів збільшуються, біологічні колообіги ускладнюються. Загальна кількість органічної речовини зростає, урізноманітнюється за біохімічним складом і видами.

Відношення кількості валової продукції *ВП* до дихання *Д* $\left(\frac{ВП}{Д}\right)$ на ранніх стадіях розвитку екосистеми більше за одиницю, в клімаксових угрупованнях воно наближається до одиниці. Початкове відношення валової продукції до кількості біомаси *Б* $\left(\frac{ВП}{Б}\right)$, що характеризує швидкість оновлення екосистеми, велике, згодом воно зменшується. Відношення біомаси до енергетичного потоку *Е* $\left(\frac{Б}{Е}\right)$ з наближенням екосистеми до клімаксової стадії зростає.

Отже, *екологічна сукцесія* — це упорядкований розвиток екосистеми, пов'язаний зі зміною в часі її видової структури, процесів, що в ній відбуваються. Він має певну спрямованість, і тому є передбачуваним, прогнозованим. Сукцесія відбувається в результаті зміни фізичного середовища під впливом самого угруповання. Водночас фізичне середовище визначає характер сукцесії, швидкість змін і нерідко мету розвитку.

Кульмінація розвитку екосистеми виражається в її стабільності, у стані динамічної рівноваги. У такій екосистемі на одиницю потоку енергії припадають максимальні кількості біомаси і симбіотичних зв'язків між організмами. Ці фундаментальні ознаки розвитку екосистем слід враховувати при створенні штучних екосистем — агроекосистем.

Штучна, або *антропічна*, *сукцесія* — це сукцесія, пов'язана з діяльністю людини, можне формуватися в найрізноманітніших екосистемах. Причини антропічної сукцесії: інтродукція нових видів рослин і тварин, зниження рівня ґрунтових вод внаслідок спорудження артезіанських колодязів і кар'єрів, інтенсивне використання окремих видів рослин і тварин, меліорація, підвищення рівня ґрунтових вод у результаті будівництва гідроелектростанцій, активне випасання худоби, надмірне удобрювання, забруднення пестицидами, побутовими відходами, витоптування лісу, пожежі.

Наприклад, у результаті випасання худоби в степу на пісках Нижнього Дніпра зафіксовано такі стадії сукцесії: дернинні злаки (типчак, житняк, ковила); стрижнево-кореневі двосім'ядольні (молочай, однорічники, дворічники), розбиті копитами дернинники злаків майже зовсім зникають; кореневищні рослини (піщаний пирій, піщана осока, війник), стадія голих пісків. Отже, внаслідок простого явища — випасання худоби — екосистема степу перетворилася на екосистему пісків, оскільки зі зміною рослинності змінились і тваринне населення, і ґрунт.

Зміни в екосистемах, спричинені діяльністю людини, надзвичайно різноманітні і різномасштабні, аж до дигресії. *Дигресія* — це погіршення стану біотичних угруповань (екосистем) через зовнішні чи внутрішні причини. Отже, базові зміни розвитку агроекосистем мають не тільки суто екологічний, а й технологічний та економічний зміст.

9.2. Причини та наслідки порушення стійкості агроекосистеми

Досвід засвідчує, що причини порушення стійкості агроекосистем починаються на рівні недостатнього еколого-технологічного обґрунтування проектів, техніки, технологій, управлінських рішень, науково-технічних новацій в агропромисловому комплексі України, що ініціює не тільки економічні, а й екологічні прорахунки.

Екологічний прорахунок — це непередбачений шкідливий наслідок антропогенної зміни навколишнього середовища, який зводить нанівець заплановану вигоду або породжує багато нових проблем, у тім числі на рівні екологічної кризи. На жаль, сьогодні відомо багато прикладів агроекологічних прорахунків, серед них — незбалансоване застосування засобів хімізації землеробства, сумнозвісні наслідки осушення і зрошення земель та ін.

Недостатнє еколого-технологічне обґрунтування конструктивних вирішень сільськогосподарської техніки та агротехнологій сформували вкрай негативну для підвищення стійкості і продуктивності агроекосистем проблему — переущільнення ґрунту (табл. 9.1).

У практиці сучасного землеробства є багато доведень негативного впливу ходових систем машино-тракторних агрегатів на родючість ґрунтів: погіршення якості обробітку навіть чорнозему типового і, з цієї причини, погіршення якості посіву, особливо на поворотних смугах полів, де переущільнення виражене сильніше; застоювання води на полях після танення снігу, інтенсивних дощів і посилення ерозії на схилах; повсюдне збільшення потужності плужної підошви. За численними даними, переущільнення багатьох орних

земель країни може перевищувати допустимі межі, поширюватись поза оброблюваний шар, при цьому різко погіршуються повітроємність, водопроникність, агрономічні якості порового простору, зменшується діапазон активної вологи. Тим самим погіршуються умови росту коренів, використання мінеральних (особливо азотних) добрив, підвищуються витрати паливно-мастильних матеріалів на виконання наступних механічних операцій. Помітне погіршення екологічних, насамперед ґрунтово-фізичних, чинників призводить до зниження урожайності більшості культур на 10 – 15 %.

Таблиця 9.1. **Морфологія і продуктивність коренів ячменю залежно від ступеня ущільнення ґрунту**

Ступінь ущільнення, г/см^3	Маса коренів, г	Об'єм коренів, г/см^3	Середній діаметр коренів, мм	Надземна маса, г	Коефіцієнт продуктивності
0,9	0,62	12,8	0,28	1,81	2,9
1,1	0,52	11,1	0,28	2,28	4,4
1,3	0,31	6,4	0,15	1,70	5,5
1,5	0,29	6,0	0,12	1,39	4,8

За ущільнення дерново-підзолистих ґрунтів до 1,40 г/см^3 швидкість росту коренів кукурудзи зменшувалась в 1,5 – 2 рази, урожайність — відповідно в 2 – 4 рази.

Для об'єктивної характеристики кореневих систем, які формуються за різного ступеня ущільнення ґрунту, застосовують показник роботоздатності кореневої системи, який називають *коефіцієнтом продуктивності*. Він може бути узагальненим показником основних функцій фізіологічної діяльності коренів (див. табл. 9.1).

Морфологічні зміни кореневої системи ячменю залежно від ступеня ущільнення ґрунту відбиваються на її функціонуванні і продуктивності.

Нині посилились процеси вторинного підкислення, нейтралізації, дегуміфікації і декальцинації ґрунтів, які прямо й опосередковано погіршують їх структуру та агрофізичний стан загалом.

Часті обробітки також руйнують структуру ґрунтів, збільшують ступінь мінералізації гумусу. У перспективі частка таких видів меліоративних робіт, як структурна меліорація малопродуктивних ґрунтів, рекультивація порушених земель, капітальне планування поверхні, незважаючи на їх високу енергоємність, зростатиме. Водночас на високородючих ґрунтах країни частіше застосовуватимуться «м'які», екологічно збалансовані методи агротехнічної дії: мінімізація обробітків і норм внесення мінеральних добрив, підвищення значущості місцевих органічних і органо-мінеральних добрив, сиде-

ратів, зменшення частки просапних культур, інтенсифікація травосіяння, а також заходи щодо підвищення потенціалу живого моноліту ґрунту.

Ущільнення ґрунту як похідне так званих «прогресивних» інтенсивних технологій набуло важливого значення в загальних деградаційних процесах агроекосистем: зменшується елементарний поживний об'єм ґрунту, знижується ККД поживних речовин ґрунту і внесених добрив. У кінцевому результаті зменшується загальна і господарська продуктивність сільськогосподарського поля, площа ущільнення якого залежить від:

- ширини колії, що утворюється ходовою системою трактора;
- ширини захвату агрегата;
- числа його проходів по полю, яке визначають за формулою

$$n = \frac{(AK)}{P_{\text{г}}},$$

де n — число проходів; A — ширина поля, м; K — питомий опір сільськогосподарської машини, Дж/см^2; $P_{\text{г}}$ — тягове зусилля на гаку трактора, Дж.

Площу ущільнення поверхні за один прохід агрегата без урахування ущільнення ґрунту ходовими системами сільськогосподарських машин і за холостого ходу на поворотних смугах обчислюють за формулою

$$S_0 = 2b(L_0 - 2E),$$

а загальну площу ущільнення поля — за формулою

$$S = S_0 n = \frac{\left[2bAK\left(L_0 - 2E\right)\right]}{P_{\text{г}}},$$

де S_0 — площа ущільнення поля за один прохід агрегата, м^2; S — загальна площа ущільнення поля, м^2; L_0 — довжина поля, м; b — ширина трактора, м; E — ширина поворотної смуги, м.

Площу ущільнення поля ходовою системою трактора за виконання однієї операції визначають за формулою

$$S = \frac{2bL_0A^2K\left(L_0 - 2E\right)}{\left[\left(L_0 - 2E\right)A + \left(A + B\right)l\right]P_{\text{г}}},$$

де l — довжина поворотної смуги, м; B — ширина захвату агрегата, м.

На поворотних смугах ґрунт ущільнюється в разі повороту агрегата як за холостого, так і за робочого ходу. Площу ущільненої пово-

ротної смуги $S_{\text{п.п}}$ знаходять за виразом

$$S_{\text{п.п}} = S_{\text{х.х}} + S_{\text{р.х}} = \left(\frac{A}{B} - 1\right) 2bl + \frac{2bEA}{B},$$

де $S_{\text{х.х}}$ і $S_{\text{р.х}}$ — площі ущільнених смуг відповідно за холостого і робочого ходу сільськогосподарської машини.

Загальну площу ущільнення поля за виконання однієї операції обчислюють за залежністю

$$S_{\text{заг}} = \frac{2bL_0A^2K\left(L_0 - 2E\right)}{\left[\left(L_0 - 2E\right)A + \left(A + B\right)l\right]P_{\text{г}}} + \left(\frac{A}{B} - 1\right) 2bl + \frac{2bEA}{B}.$$

Отже, знаючи розміри поля і поворотної смуги, параметри ходової системи трактора, тягове зусилля і питомий опір сільськогосподарських машин, які залежать від фізико-механічних якостей ґрунту, можна визначити загальну площу ущільнення поля за виконання однієї і кількох технологічних операцій. Вихідними параметрами при цьому є довжина L_0 та ширина A поля, тягове зусилля на гаку трактора $P_{\text{г}}$, ширина його ходової системи b та питомий опір сільськогосподарських машин K.

Питомим опором ґрунту називають його опір, що виникає під час оранки, в розрахунку на одиницю площі поперечного зрізу скиби.

Практичне визначення тягового зусилля на гаку трактора пов'язане з великими труднощами, тому для розрахунку площі ущільнення його зручно виражати через ширину захвату агрегата B:

$$P_{\text{г}} = BK.$$

Відхилення значення питомого опору ґрунту від реального компенсуватиметься значенням тягового зусилля на гаку трактора, що дасть об'єктивні дані щодо площі ущільнення поля.

Загальна площа ущільнення поля при обробітку просапних культур виявилась значно більшою, ніж для культур суцільного посіву. З метою зменшення площі ущільнення поля слід віддавати перевагу тракторам вищого тягового класу, які агрегатуються із широкозахватними знаряддями, внаслідок чого значно зменшується кількість проходів по полю.

Так, під час культивації трактор МТЗ-80 ущільнює 1650 м^2/га ґрунту, а Т-150К — вдвічі менше. Аналогічних результатів можна домогтися при виконанні інших операцій. При цьому не слід допускати проходів енергонасичених тракторів перезволоженим ґрунтом.

Застосуванням маршрутизації руху машино-тракторних арегатів можна зменшити площу ущільнення поля під час обробітку основних сільськогосподарських культур в 1,7 – 2,7 раза (табл. 9.2).

Таблиця 9.2. **Загальна площа ущільнення поля при обробітку ґрунту (без урахування збирально-транспортних операцій),** тис.м^2

Сільськогосподарська культура	Рекомендована (типова) технологія	Технологія обробітку з маршрутизацією
Цукровий буряк	29,2	17,5
Кукурудза	29,0	15,2
Озима пшениця	22,5	8,3

Маршрутизацією руху тракторів усувають зайві проходи полем, поліпшують організацію ведення польових робіт, знижують витрату пального, підвищують урожайність сільськогосподарських культур, стабілізують еколого-технологічний каркас стійкості ґрунту, під якою розуміють його здатність зберігати свої агрономічно значущі параметри в умовах дії зовнішнього чинника в тому діапазоні значень, який забезпечує стабільність функціонування агроекосистеми загалом (табл. 9.3).

Таблиця 9.3. **Вплив маршрутизації руху сільськогосподарських машин і знарядь на урожайність ячменю на чорноземі типовому (учгосп Харківського аграрного університету)**

Технологія обробітку	Урожайність, ц/га	
	Надземна маса	Зерно
Без маршрутизації	136	38,5
З маршрутизацією	172	41,2

Це передбачає перегляд типових проектів з метою застосування максимально можливої маршрутизації.

Хоча маршрутизація — досить простий і ефективний спосіб зменшення негативного впливу машино-тракторних агрегатів на ґрунт, її впровадженню заважають труднощі, пов'язані з різною шириною захвату знарядь для передпосівного обробітку і посіву сільськогосподарських культур. Наприклад, паровий культиватор КСП-4 має ширину захвату 4 м, а зернова сівалка СЗ-3,6 — 3,6 м. Для широкого впровадження маршрутизації необхідний комплекс агрегатів, які б мали однакову ширину захвату базових машин. Це не потребує значних затрат, оскільки конструкції машин залишаються сталими, змінюється тільки ширина захвату. За виконання цих умов маршрутизація сільськогосподарських агрегатів при вирощуванні будь-якої культури здійснюватиметься практично автоматично, оскільки вони рухатимуться тільки постійними коліями. У цьому разі площа ущільнення поля зменшиться, локалізується в об'ємі поля в постійних коліях і практично усунеться при періодичній їх глибокій оранці.

Питання щодо втілення у виробництво сільськогосподарської техніки з синхронізованою шириною захвату може бути вирішене тільки в перспективі.

Рекомендації сільськогосподарським підприємствам

1. На середньо-, важкосуглинкових і глинистих ґрунтах під час передпосівного обробітку й посіву сільськогосподарських культур, а також виконання інших операцій за вологості ґрунту понад 0,70 НВ (НВ — найменша, або польова вологоємність; для середньо- і важкосуглинкових ґрунтів 0,70 НВ приблизно відповідає вологості ±22 – 24 %) в основному треба застосовувати гусеничні трактори й максимально обмежувати використання колісних типу К-700, К-700А, К-701, Т-150К. Агрегати з колісними тракторами класів 3 – 5 для передпосівного обробітку ґрунту можна застосовувати за вологості орного шару ґрунту не більш як 0,65 – 0,70 НВ.

2. Під час підготовки ґрунту до посіву, сівби та догляду за сільськогосподарськими культурами треба застосовувати широкозахватні або комбіновані агрегати, які повністю реалізують тягові можливості трактора. Це забезпечить зменшення кількості слідів на полі і числа проходів техніки по одному сліду.

3. Якщо для сівби були використані колісні трактори, потрібно провести розпушення і вирівнювання слідів трактора. Залежно від ґрунтових умов слід застосовувати спеціально виготовлені розпушувачі.

4. Під час розробки виробничих схем організації польових робіт варто віддавати перевагу такій схемі, за якої проходи полем усіх видів техніки, особливо автомобілів, транспортних і технологічних агрегатів, а також комбайнів, були б найменшими. Заправляти агрегати насінням, добривами, гербіцидами, паливом треба за межею поля без заїзду на нього транспортних засобів. Для вивезення з поля урожаю, особливо таких культур, як картопля, овочі, цукрові буряки тощо, за допомогою транспортних тракторних агрегатів з причепами в межах поля як тягач варто використовувати, де це можливо, гусеничні трактори.

5. З метою підвищення стійкості ґрунтів до ущільнення, прискорення процесу їх саморозущільнення і підвищення ефективності розущільнення ґрунту за глибокого розпушення рекомендується вносити високі дози (80 – 120 т/га) органічних добрив.

6. Доцільно практикувати прийоми мінімального обробітку ґрунту, рекомендовані для певної зони.

7. З метою розущільнення переущільнених ґрунтів треба проводити глибокий безполицевий або чизельний обробіток.

Допустимий тиск рухомих об'єктів на ґрунт. Дослідженням дерново-підзолистих суглинкових ґрунтів установлено оптимальний тиск ходових систем техніки, за якого не погіршуються якості ґрунту та умови проростання і розвитку зернових культур. За вологості ґрунту 25 – 30 % цей тиск не повинен перевищувати 75 кПа, за вологості 17 – 21 % — 125 і за 8 – 12 % — 15 кПа. Для України за основного обробітку важкосуглинкового чорнозему оптимальний тиск не повинен перевищувати 80 – 100 кПа, під час посіву та в умовах зрошення — 40 – 60 кПа. Під час ранньовесняного боронування рекомендується близький до цих величин тиск на ґрунт за різної його вологості — 40 кПа, передпосівного обробітку і сівби — 50 – 60 кПа, літніх і осінніх робіт за вологості не більш як 0,60 НВ — 100 – 150 кПа.

За рекомендаціями Всеросійського інституту механізації, зберегти в оптимальному діапазоні щільність орного шару ґрунту потужних кубанських чорноземів з вологістю 0,60 – 0,65 НВ можна, якщо

тиск на нього не перевищуватиме 100 кПа. За вологості понад 0,70 НВ тиск на ґрунт має бути не вищим за 50 – 70 кПа.

Під дією рухомих об'єктів на ґрунт знижується врожайність сільськогосподарських культур, збільшуються витрати енергії на обробіток ґрунту. За допустимого рівня впливу техніки на ґрунт недобору урожаю вдається запобігти, а втрати енергії на обробіток ґрунту різко зменшуються.

Заміною колісних тракторів, які нині експлуатуються в господарствах, на гусеничні можна зменшити недобір урожаю, наприклад зернових культур у розрахунку на 1 га, — на 1 – 3 ц, витрату палива на оранку — на 2,5 – 3,5 кг.

9.3. Стійкість агроекосистеми як основа її продуктивності

Головна функція агроекосистеми полягає у створенні первинної біологічної рослинницької продукції, що є основою функціонування всіх її ланок і власне найважливішим її завданням — забезпечити людину продуктами харчування.

У природних екосистемах процеси циркуляції речовин і проходження їх ланцюгами живлення підтримуються механізмами самоорганізації, що зумовлює їх стійкість.

Ситуація різко змінюється в разі заміни природних екосистем на агроекосистеми, оскільки фундамент функції екосистем — фотосинтез продуцентів — зберігається, але склад агроекосистем і кількісні параметри функції починає регулювати людина.

Сьогодні антропогенне навантаження на трофічні ланцюги, структуру систем, колообіг речовин та енергії, деградація і зниження стійкості агроекосистеми як основи її продуктивності досягли такого рівня, що вкрай негативні процеси спостерігаються не тільки на локальному, а й на регіональному рівні. Відомо, що зернова криза у 2003 р. була зумовлена не тільки технологічними й економічними прорахунками, а й істотним зниженням екологічного рівня регіональної агросфери.

На жаль, досі залишаються недостатньо розробленими методичні підходи до оцінки станів локальних агросистем, і відповідно, принципи їх контролю та коригування їхніх змін у певному напрямі.

Нормування антропогенних впливів на агроекосистему

Норма — це середня величина, яка характеризує будь-яку масову сукупність випадкових явищ. Її використовують при дослідженнях із залученням методів математичної статистики.

Агроекологічне нормування — це система базових параметрів агроекосистеми, яка забезпечує її сталий розвиток. Створення такої системи є однією з основних передумов підвищення екологічного рівня агросфери. Вона має бути націлена на формування агроландшафтів і зооценозів, здатних до прогресивного саморозвитку, як природних складових біосфери.

На сьогодні теорія функціонування агроекосистем розроблена переважно в системі «плаваючих» координат з використанням опосередкованих та з великою технологічною амплітудою складових, внаслідок чого вихідні розрахунки, які робляться на рівні елементарних агроекосистем (чи окремих значущих її компонентів), регіональної або національної агроекосистеми (агросфери), мають занадто низьку екологічну надійність. Це комплексне явище є похідним недосконалості агроекологічного нормування, що, в свою чергу, істотно знижує ефективність науково-технічних новацій у сільськогосподарському виробництві та його економічну ефективність загалом.

При цьому треба усвідомити, що агроекологічне нормування функціонування агроекосистем принципово різниться від санітарно-гігієнічних підходів і асимілює насамперед проблеми недостатнього агроекологічного обґрунтування проектів, техніки, технологій агропромислового комплексу України. Йдеться не просто про встановлення жорсткіших ГДК, а принциповою є зміна об'єкта нормування, тобто в центр уваги гігієнічного нормування потрапляють прояви токсичності на рівні окремого організму та його наступних поколінь. Іншими принципами слід керуватись при екологічній регламентації сільськогосподарського виробництва (агроекосистем), оскільки основним об'єктом нормування тут є системи надорганізменного рангу (агроценози різних рівнів, популяції сільськогосподарських тварин). У зв'язку з цим особливе значення має проблема стійкості агроекосистем і можливість їх існування в кількох метастабільних станах. Це положення є базовою складовою концепції сталого розвитку агропромислового комплексу. Звідси очевидно, що подальший соціальний прогрес великою мірою визначається ефективністю заходів щодо мінімізації екологічних прорахунків, причому вони мають бути не заходами з ліквідації наслідків екологічних прорахунків (аварія на ЧАЕС, деградація ґрунтів, екологічна незбалансованість проектів, техніки, технологій АПК), а носити упереджувальний характер. Важливою складовою теорії агроекологічного нормування є відмова від егоцентричного підходу — «все для блага людини», оскільки в умовах високого рівня техногенезу не все добре для природи, що добре для людини. За сучасних умов і тенденцій потребує додаткових розробок і концепція ноосфери. На жаль, з урахуванням наслідків техногенної діяльності, Homo sapiens ще має довести свою видову належність — людина розумна. Застосу-

вання відповідних норм у землеробстві пов'язане з використанням добрив, пестицидів, регламентуючих (нормативних) параметрів меліоративного землеробства (норма осушення, зрошення) та ін.

Короткий глосарій

Норма добрива — загальна його кількість, що вноситься під сільськогосподарську культуру за весь період її вегетації. Наприклад, норма внесення азотних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах Полісся під озиму пшеницю становить 90 кг/га (N_{90}).

Норма зрошування — річний об'єм води для зрошення одиниці площі поливної землі. Для більшості районованих сільськогосподарських культур степової зони орієнтовно дорівнює 2,0 – 2,5 тис. $м^3$.

Норма осушення — показник зниження рівня підґрунтових вод на осушеній території, що забезпечує нормальний розвиток сільськогосподарських культур. Залежить від виду культури і властивостей ґрунту. Для основних культур Українського Полісся коливається від 0,6 м (багаторічні трави) до 1,0 м (зернові). Норма осушення під багаторічні насадження (хміль) — 1,5 – 2,0 м.

Нормування речовин — забрудників ґрунту полягає у встановленні межі допустимої залишкової кількості забруднювальних речовин у ґрунті. В агроекосистемах це насамперед стосується вмісту пестицидів в орному шарі ґрунту сільськогосподарських угідь.

Отже, екологічне нормування будь-якого антропогенного впливу на екосистему (агроекосистему) дає змогу визначити реакцію цієї системи на відповідне втручання і має зворотний зв'язок, що слугує основою для вдосконалення нормативної бази як передумови підвищення стійкості агроекосистеми. Цікавою щодо цього є теоретична розробка проблеми буферної здатності ґрунтів (Р.С. Трускавецький, 2003), згідно з якою доступність рослинам того чи іншого елемента родючості, ефективність енергообміну в системі ґрунт — рослина прямо залежить від функціонування буферних ґрунтових механізмів. Такі складові ґрунту, як гранулометричний склад, органомінеральний колоїдний комплекс, ґрунтові мікроорганізми, гумус тощо, не є елементами родючості, бо їх вплив на рослини опосередкований (непрямий). Пряму дію на рослини чинять елементи мінерального живлення (в макро-, мезо-, мікро-, нанокількостях), продуктивна волога ґрунту, газовий склад ґрунтового повітря, теплова енергія ґрунту та аеротопу, наявність у ґрунтовому розчині токсинів (важких металів, алюмінію, оксиду заліза(II), пестицидів, надлишку нітратів і нітритів, водорозчинних солей, радіонуклідів тощо), ґрунтовий простір для розвитку кореневої системи рослин. Ґрунтові токсини, які пригнічують рослини чи спричинюють їх загибель, ми пропонуємо називати *антиелементами родючості*. Раніше цей тер-

мін у ґрунтознавчій літературі не траплявся, але його введення агроекологічно обґрунтоване і необхідне. Будь-який елемент родючості, особливо в безбуферному ґрунті, за його надлишку трансформується в антиелемент, змінюючи свою функцію впливу на рослину з позитивної на негативну. Пороги переходу елементів родючості в антиелементи характеризують їх гранично допустимі рівні в ґрунтовому середовищі.

Отже, різні види буферності ґрунту встановлюють залежно від елемента (антиелемента) родючості, який діагностують. Це означає, що скільки налічується елементів (антиелементів) родючості, стільки ж є видів буферної здатності ґрунтів. Однак буферність можна визначати також відносно двох і більшої кількості елементів родючості, що синергічно чи антагоністично пов'язані між собою за місцями у ґрунтовому вбирному комплексі та в кореневій системі рослин у процесах їх мінерального живлення. До таких видів буферності належить зокрема буферність фосфатного, калійного, вапнякового чи солонцевого, окисно-відновного потенціалів. Тому видовий склад буферності значно ширший, ніж елементів родючості. Сукупність основні видів буферності визначає стійкість функціонування та можливі напрями зміни агроекологічного стану ґрунтів як основи стійкості і продуктивності агроекосистем. Під час оцінювання стійкості агроекосистем на рівні екологічної оптимізації агроландшафту рекомендують враховувати такі аспекти:

1) оцінку стану та прогнозування змін у ландшафті треба здійснювати на основі систематичного вивчення, оскільки науково доведено наявність біологічної саморегуляції та самоорганізації (в тому чи іншому ступені) ландшафту як системи територіально стійкої і чітко обмеженої в просторі;

2) системний підхід до ландшафту дає змогу виявити його структуру, а також істотні зв'язки компонентів у просторі й часі; звідси випливає можливість пошуку варіантів, принципів та методів узгодження взаємовідносин для різних типів ландшафтів;

3) екологічна стабільність і продуктивність екосистем (агроекосистем) тісно пов'язані з різноманіттям абіотичних та біотичних елементів ландшафту, тому особливо важливо грамотно оцінити ландшафтні структури, що склалися, та можливі їх модифікації з урахуванням коефіцієнтів екологічного різноманіття;

4) екологічна стійкість ландшафту включає як стійкість до антропогенних навантажень, так і гнучкість системи в її реакції на те чи інше порушення, тому під час оцінювання речовинно-енергетичних та інших зв'язків між компонентами треба визначати потенційні навантаження на ландшафт;

5) щоб встановити оптимальну структуру та функціональні зв'язки окремих агроекосистем відповідно до еколого-економічного

потенціалу агроландшафту слід взяти до уваги первинну біологічну продукцію, просторово-часовий розподіл популяції організму по трофічних ланцюгах, біорізноманіття.

9.4. Техногенні та біологічні принципи інтенсифікації землеробства

Традиційна інтенсифікація землеробства в Україні призвела до надмірної деградації агроекологічного потенціалу, потужність якого вважалась неперевершеною. Він залишається значним навіть після нераціонального використання агроресурсів упродовж багатьох десятиліть. Фактично екстенсивний розвиток землеробства в Україні призвів до надмірної розораності сільськогосподарських угідь. Ця обставина сформувала екологічно несприятливе співвідношення площ ріллі, природних кормових угідь, лісових та водних ресурсів, а загалом — несталі і вразливі агроландшафти. Сьогодні ландшафтно-екологічний принцип ведення землеробства потребує нових уявлень щодо його інтенсифікації. Власне, ми із запізненням повертаємось до теоретичних положень ландшафтознавства, які свого часу сформулював один із найвидатніших його засновників — В.В. Докучаєв. Його ландшафтно-екологічна концепція ґрунтується на положенні про те, що територіальна диференціація землеробства має бути чітко обумовлена «типом місцевої природи», чим підкреслюється необхідність не тільки підкоряти природу, а й свідомо пристосовуватись до неї, враховувати закони її будови і функціонування.

Ландшафти як природні комплекси характеризуються рівновагою, що підлягає саморегуляції на основі мобілізації внутрішніх механізмів системи. В агроландшафті, треба створювати стійку, але вже керовану систему, яка б могла нівелювати негативні явища. На еколого-технологічному рівні це положення асимілюється феноменологічними моделями «зеленої революції» та «зеленої еволюції» (табл. 9.4).

Таблиця 9.4. **Порівняння феноменологічних моделей агроекосистем «зеленої революції» та «зеленої еволюції»**
(за Б.М. Міркіним, Р. М. Хадіахметовим)

Характеристика	Модель	
	«зеленої революції»	«зеленої еволюції»
Використання енергії з традиційних (вичерпних) джерел за межами агроекосистеми	Високе	Помірне
з нетрадиційних (невичерпних) джерел на території агроекосистеми	Низьке	Помірне

Закінчення табл. 9.4

Характеристика	Модель	
	«зеленої революції»	«зеленої еволюції»
Спеціалізація господарств	Тваринництво або рослинництво	Комплексна
Структура землевикористання	Залучені всі землі, придатні до обробітку, в тім числі частина маргінальних	Частина орнопридатних ґрунтів зайнята лісом та багаторічними трав'янистими угрупованнями
Загальна кількість біологічних різновидів	Низька	Помірна і висока
Напрям селекції	Підвищення продуктивного потенціалу, одновидові посіви	Підвищення адаптивного потенціалу, набір різних культур
Контроль чисельності шкідників, хвороб, бур'янів	Хімічний	Біологічний, агротехнічний
Використання мінеральних добрив	Великі дози	Невеликі дози
Вплив біологічної азотфіксації	Незначний	Значний
Сидерація	Не використовується	Використовується
Механічний вплив на ґрунт (оранка, ущільнення та ін.)	Сильний	Помірний
Структура поголів'я тварин	Один, рідше два види (або породи) сільськогосподарських тварин	Декілька видів (або порід) сільськогосподарських тварин
Забезпечення кормами	Переважно за рахунок ріллі	Переважно за рахунок природних кормових угідь

Адаптивна стратегія інтенсифікації стійких агроекосистем

Адаптація — це сукупність пристосувань, реакцій живої системи (організму, популяції, виду, біоценозу), спрямованих на підтримання функціональної стабільності за зміни умов зовнішнього середовища, а також сумісного співіснування компонентів в екосистемах певного виду. *Адаптивна здатність агроекосистеми* визначається саме її пристосовуваністю до змін умов середовища. Розширює і доповнює принцип адаптації положення про *екологічну надійність агроекосистеми*, під якою розуміють як її здатність виконувати енергопродукційну роботу упродовж усього еволюційного і техногенно обумовленого періоду її існування.

Адаптивний комплекс конкретної агроекосистеми ґрунтується на адаптивно-ландшафтній системі землеробства, обов'язковими складовими якої є адаптивне рослинництво, зокрема адаптивна культура.

Адаптивне рослинництво — це новий перспективний етап розвитку рослинництва, в якому використано адаптивний потенціал

усіх біологічних компонентів агроекосистем для забезпечення високого рівня утилізації сонячної енергії та інших відновлюваних ресурсів природного середовища в інтересах людини (А. Жученко, 1990). Автор підкреслює, що «наукоємність — найхарактерніша особливість, перевага стратегії адаптивної інтенсифікації рослинництва». Природничою базою і проблемно-орієнтованим напрямом адаптації агроекосистем у ринкових умовах є застосування економічних механізмів, як передумови практичної реалізації концепції адаптивного землеробства (табл. 9.5).

Таблиця 9.5. **Порівняльні результати економічної діяльності господарств ФРН, що ведуть екологічне і традиційне землеробство** (за О.О.Созіновим)

Показник	Екологічне землеробство	Традиційне (сучасне) землеробство
Робоча сила, кількість робітників у господарстві	1,92	1,60
Частка зернових культур, %	57,6	63,5
Частка кормових культур, %	26,0	9,2
Кількість тварин на 100 га сільськогосподарських угідь	97,2	113,6
у тім числі великої рогатої худоби	38,4	50,6
Врожайність, ц/га		
озимої пшениці	36,9	58,7
озимого жита	28,2	46,0
картоплі	161,0	289,0
Надої молока, кг/корову	3881	4683
Закупівельні ціни, марка/ц		
пшениця	102,58	32,88
жито	94,41	31,81
картопля	59,90	19,20
молоко (за 100 кг)	71,21	65,24
Валовий прибуток господарства, марка/га сільськогосподарських угідь, у тім числі в	4728	4100
рослинництві	1177	625
тваринництві	2190	2584
Затрати в господарствах, марка/га сільськогосподарських угідь, у тім числі на	3408	3010
добрива	43	236
засоби захисту	10	96
закупівлю тварин	114	136
закупівлю кормів	200	301
зарплату	324	103
Прибуток у розрахунку на одне господарство, марка	1321	1152
Загальний прибуток, марка	464 311	42 676

Саме сучасна екологічна ситуація в низці країн почала викликати тривогу, що започаткувало рух за альтернативне землеробство, синонімом якого є екологічне землеробство. Проте ці назви певною мірою умовні.

В сучасних умовах високих технічних можливостей успішно розвивається один зі стратегічних напрямів інтенсифікації систем землеробства — *точне землеробство*. Це сучасний тип землеробства, що ґрунтується на оптимізації використання технологічних матеріалів (насіння, добрив, засобів захисту, регуляторів росту рослин) та агрозаходів на конкретній ділянці поля відповідно до вимог певної сільськогосподарської культури, стану ґрунту і збереження довкілля.

Принципи точного землеробства надають нового змісту застосуванню інтенсивних технологій без погіршення якості довкілля за рахунок реалізації адаптивного потенціалу виду, сорту, агробіоценозу, тобто їх біологічної здатності пристосовуватись до умов навколишнього середовища. Щоб реалізувати адаптивний потенціал рослин, треба повністю використати їхні біологічні можливості не тільки для підвищення потенційної продуктивності за сприятливих умов середовища, а й для збільшення екологічної стійкості (протистояння суховіям, посухам, морозам, низьким температурам). За таких умов обов'язково зростатиме потенційна продуктивність сорту, агробіоценозу, що розглядається як вирішальний чинник збільшення врожайності. При цьому затрати невідновлюваної (викопної) енергії на меліорацію середовища будуть мінімальними.

Сьогодні набуває практичного змісту відновлювальна система землеробства — сучасна система, що ґрунтується на впровадженні альтернативних ресурсозберігаючих технологій. У продукційному процесі зростає частка біологічних компонентів і саморегуляційних механізмів агроекосисистем. Розрізняють відновлювальну систему землеробства органічну, біологічну, біодинамічну. Прототипом такої системи можна вважати травопільну, засновником якої був В.Р. Вільямс.

9.5. Ерозія ґрунту і стійкість агроекосистеми

Ерозія ґрунтів — це процес руйнування, перенесення і відкладання продуктів руйнування ґрунтів під впливом води, вітру, механічної дії ґрунтообробних знарядь (рис. 9.1), внаслідок чого катастрофічно знижується частка родючих земель. На сучасному етапі землекористування швидкість руйнування ґрунтового покриву перевищує швидкість ґрунтотворення.

Як правило, ерозію ґрунту спричинює антропогенний чинник.

Антропогенна ерозія — це руйнування ґрунту у зв'язку з неправильним землекористуванням: велика розораність земель, непро-

думана конфігурація полів, недотримання сівозмін, екологічно нестабільний обробіток ґрунту, відсутність лісосмуг та ін.

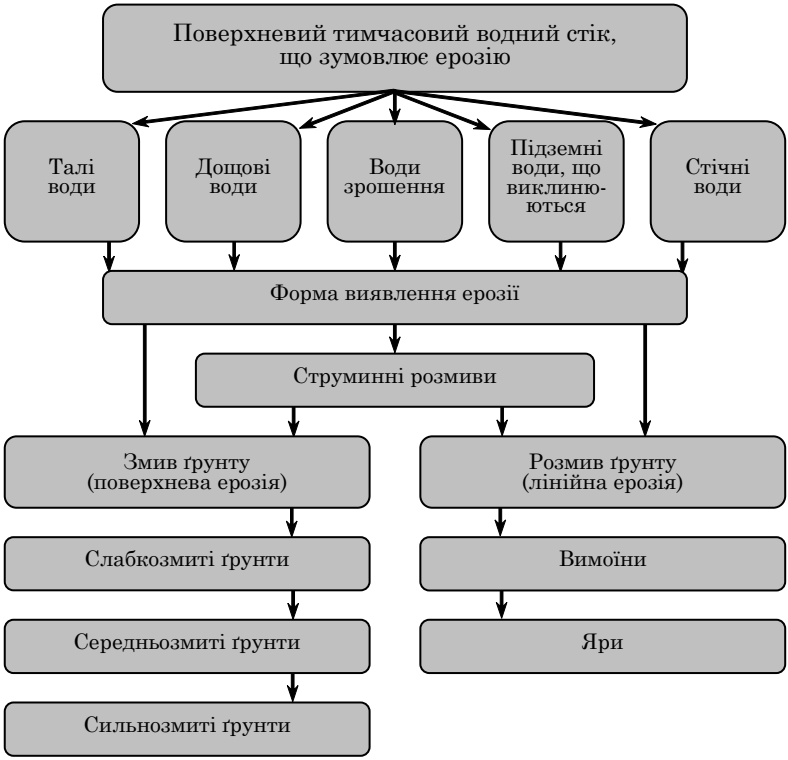


Рис. 9.1. Класифікація ерозії ґрунтів

Для практичних потреб рекомендована шкала оцінки інтенсивності ерозії, складена за втратами ґрунту за рік М.К. Шикулою:

Інтенсивність втрат ґрунту внаслідок ерозії, т/га	**Ступінь ерозії**
Менша за швидкість ґрунтотворення, що дорівнює близько 2 – 3 т/га	Відсутня
Більша за швидкість ґрунтотворення, але менша за 6	Слабка
6 – 12	Середня
12 – 24	Сильна
24 – 60	Дуже сильна
>60	Катастрофічна

За розрахунками УкрНДІ захисту ґрунтів від ерозії, у нашій державі за рік втрачається 344 млн т ґрунту або в середньому 20 т/га.

У змитому і дефльованому ґрунті міститься, млн т: гумусу — 10,7, азоту — 0,5, фосфору — 0,4, калію — 7,1. Щоб компенсувати такі витрати, треба внести, млн т: гною — 118, аміачної селітри — 1,5, суперфосфату — 2,1, калійної солі — 17,1.

Крім водної і вітрової ерозії ґрунту окремо можна виділити *іригацію*, яка виникає, коли схилові землі зрошують із порушенням технології та норм поливу, та *підземну ерозію*. Останню ще називають *хімічною*.

Сьогодні загрозливих розмірів набуває *агротехнологічна ерозія* — руйнування структури ґрунту під впливом ґрунтообробних знарядь і агрегатів (табл. 9.6).

Таблиця 9.6. **Ґрунтозахисна ефективність сільськогосподарських культур залежно від стрімкості схилу,** % (за М.І. Головко)

Сільськогосподарська культура, агрофон	Ґрунтозахисна ефективність за стрімкості схилу		
	3°	6°	9°
Багаторічні трави	95	94	84
Озимі (на зерно)	83	78	69
Коноплі, ярий ячмінь (на зерно)	50	46	41
Однорічні трави, горох	47	42	37
Цукрові буряки	47	—	—
Просо, овес	42	36	32
Гречка	39	35	31
Соняшник	37	34	—
Кукурудза (на силос)	35	32	—
Картопля	32	28	—
Пар чорний	0	0	0
Стерня озимих	51	45	39
Стерня ярих суцільної сівби	25	23	20

9.6. Землеустрій як чинник стійкості агроекосистеми

Землеустрій — це система заходів, що включає облік та оцінку земель, їх розподіл між землекористувачами, складання господарських територіальних планів тощо. Він спрямований на реальне використання природних ресурсів, передусім землі, обґрунтоване ведення сільськогосподарського виробництва, підвищення стійкості агроекосистем.

Землевпорядкування — складна система послідовних дій, спрямованих на організацію раціонального використання та всебічної охорони земель, що відповідає інтересам громадян, юридичних осіб, держави, потребує керування функціями, тобто певними видами цілеспрямованої діяльності, процесами організації території. Кожна функція системи землевпорядкування охоплює конкретні дії, рішення щодо відповідних видів робіт.

Основним механізмом (функцією) здійснення земельної реформи є державне землевпорядкування, яке, з одного боку, має сприяти ефективному вирішенню завдань земельної реформи, а з іншого — відповідати вимогам ринкової економіки та екологічної безпеки землекористування й господарювання на селі. Нові земельні відносини та вимоги ринкової економіки, як і необхідність подолання екологічної кризи в землекористуванні, ставлять нові завдання перед землевпорядкуванням.

Основними принциповими аспектами екоагрономічного обґрунтування раціонального землекористування здійсненням землевпорядкування мають бути:

- створення інформаційно-картографічної основи для екоагрономічного обґрунтування типів і видів землекористування;
- обов'язкове врахування агроекологічної якості земель при обґрунтуванні типів і видів землекористування;
- обґрунтування з урахуванням агроекологічної якості структури цільового використання земель на території району або сільської ради, особливо співвідношення земель сільськогосподарського призначення, лісового, водного та природоохоронного фондів; наприклад, землі сільськогосподарського призначення поділяють на особливо цінні, цінні і малоцінні й відповідно встановлюють правовий режим їх використання: повної недоторканності, суворої охорони, виправданої трансформації і передачі в інші категорії земель, не пов'язані з виробництвом сільськогосподарської продукції або під консервацію;
- обов'язкове врахування агроекологічної якості земель при внутрішньогосподарському їх розподілі, територіальному розміщенні сільськогосподарських і несільськогосподарських угідь; наприклад, експериментальне дослідження економічної доцільності переведення малопродуктивних та сильно- і середньоеродованих земель у природні кормові угіддя (сінокоси, пасовища);
- реалізація відмінностей земель за агроекологічною якістю при формуванні системи сільськогосподарських землеволодінь, визначенні форми земельної власності і господарювання, спеціалізації та розмірів виробництва.

Дотримання принципів еколого-агрономічного обґрунтування раціонального землекористування є головною передумовою об'єк-

тивної характеристики екологічної стабільності та антропогенного навантаження територій регіонів України (табл. 9.7).

Таблиця 9.7. **Характеристика екологічної стабільності $К_{ек.ст}$ та антропогенного навантаження $К_{а.н}$ територій регіонів України** (за А.М. Третяком, 2002)

Область	$К_{ек.ст}$	$К_{а.н}$	Екологічна стабільність
АР Крим	0,39	3,5	Стабільно нестійка
Вінницька	0,33	3,7	Стабільно нестійка
Волинська	0,59	3,0	Середньостабільна
Дніпропетровська	0,28	3,8	Нестабільна
Донецька	0,29	3,8	Нестабільна
Житомирська	0,50	3,3	Середньостабільна
Закарпатська	0,74	2,7	Стабільна
Запорізька	0,28	3,7	Нестабільна
Івано-Франківська	0,60	3,0	Середньостабільна
Київська	0,47	3,3	Стабільно нестійка
Кіровоградська	0,29	3,7	Нестабільна
Луганська	0,36	3,6	Стабільно нестійка
Львівська	0,55	3,2	Середньостабільна
Миколаївська	0,28	3,7	Нестабільна
Одеська	0,33	3,6	Нестабільна
Полтавська	0,35	3,6	Стабільно нестійка
Рівненська	0,59	3,0	Середньостабільна
Сумська	0,40	3,5	Стабільно нестійка
Тернопільська	0,35	3,7	Те саме
Харківська	0,34	3,6	«
Херсонська	0,34	3,5	«
Хмельницька	0,35	3,6	«
Черкаська	0,38	3,5	«
Чернівецька	0,54	3,2	Середньостабільна
Чернігівська	0,47	3,3	Стабільно нестійка
У с е р е д н е н о по Україні	0,41	3,4	Стабільно нестійка

Для прискорення здійснення земельної регуляторної політики держави екологічного спрямування, визначення змісту землеустрою як основного механізму реалізації забезпечення цієї політики доцільно прийняти регуляторний акт «Про вдосконалення забезпечення державної земельно-регуляторної політики».

Отже, одним з основних механізмів земельно-регуляторної політики держави є землеустрій, основне завдання якого відповідно до ст. 183 Земельного кодексу України — організація території сільськогосподарських підприємств зі створенням просторових умов, що мають забезпечити еколого-економічну оптимізацію використання й охорони земель сільськогосподарського призначення, впровадження прогресивних форм організації управління землекористуванням,

вдосконалення співвідношення та розміщення земельних угідь, систем сівозмін, сінокісних і пасовищних змін.

Землеустрій також включає систему заходів, спрямованих на здійснення положень земельного законодавства, рішень рад народних депутатів щодо організації використання й охорони земель, створення сприятливого екологічного середовища і поліпшення природних ландшафтів.

Організація земельних угідь

Організація земельних угідь — це встановлення їх складу та співвідношення, складання плану трансформації, поліпшення і розміщення їх на території землеволодіння чи землекористування.

Земельні угіддя не є чимось постійним. За потреби в окремих видах продукції, виробництво якої пов'язане з бізнес-планом господарства, державними замовленнями чи договірними контрактами, вони можуть змінюватись.

Важливим заходом у використанні земель в Україні має стати зменшення площ в обробітку і переведення їх у природні кормові угіддя. Відомо, що в світі площа кормових угідь у 2 рази перевищує площу ріллі, а в Україні площа орних земель у 5 разів більша за площу природних кормових угідь. Тому переведення орних земель у природні кормові угіддя знизить екологічне навантаження на навколишнє середовище, значно підвищить потенціал стійкості агроекосистем усіх рівнів.

На сьогодні вагомим екологічним інструментом землеустрою є *контурна організація території* — ґрунтозахисна організація певного земельного масиву відповідно до контурів природних ландшафтів з максимальним наближенням меж угідь до горизонталей.

Контурно-меліоративна організація території є найбільш комплексною, в разі її впровадження передбачається:

- розширене відтворення родючості ґрунту;
- раціональне розміщення земельних угідь, лісових смуг, шляхів, гідротехнічних водорегулювальних споруд з урахуванням природних ландшафтів і горизонталей;
- поділ земельних угідь на еколого-технологічні групи залежно від стрімкості схилів.

Земельний кадастр

У Земельному кодексі України визначено, що земельний кадастр характеризує природне, господарське і правове положення земель.

Земельний кадастр — це комплекс заходів, спрямованих на забезпечення раціонального використання земель, виконання Земельного кодексу України, забезпечення стійкості агроекосистем.

Земельний кадастр охоплює такі напрями:
1) реєстрація земель землевласників і землекористувачів;
2) порядок видачі і реєстрації державних актів на землю;
3) розподіл земель по категоріях, між землекористувачами;
4) облік якості земель у сільськогосподарських підприємствах;
5) бонітування ґрунтів;
6) економічна оцінка земель;
7) грошова оцінка земель.

Складові частини земельного кадастру відображають у графічних матеріалах (плани господарств, карти, проекти землеустрою та ін.), а також у земельно-кадастрових книгах. Між цими складовими існує повний логічний і правовий зв'язок, що дає змогу обґрунтовано спрямовувати розвиток сільськогосподарського виробництва в бік сталого розвитку.

9.7. Структура і продуктивність агрофітоценозу як чинник стійкості агроекосистеми

Агрофітоценоз — це угруповання рослин, створене і регульоване людиною. Залежно від ступеня і характеру впливу людини розрізняють: *агрофітоценози окультурені* — природні фітоценози, змінені інтенсивним використанням (луки); *агрофітоценози напівкультурні*, розвиток яких планомірно не регулюється (лісові насадження); *агрофітоценози культурні*, розвиток яких постійно регулюється (посіви, сади); *агрофітоценози інтенсивно культурні*, в яких створюються і постійно регулюються ґрунтове, водне і повітряне середовища (тепличні культури). Останні можна вважати *нооценозами*.

Короткий глосарій

Оптимізація агрофітоценозу — це система заходів, спрямованих на створення польового угруповання з використанням принципів організації природних угруповань: диференціації екологічних ніш, гетерогенності агроценопопуляції, часткової замкненості циклів обігу елементів мінерального живлення.

Сукцесія антропогенна — сукцесія, зумовлена господарською діяльністю людини, її прямим або опосередкованим впливом на екосистему.

Екологічний синдром агроценозу — екологічне явище, яке виявляється в тому, що створені людиною агроекосистеми за своєю природою дуже вразливі стосовно конкурентів, збудників хвороб, паразитів, впливу негативних чинників.

Стале землеробство — землеробство в таких ґрунтово-кліматичних районах, де за дотримання рекомендованих технологій щорічно гарантуються високі врожаї сільськогосподарських культур завдяки забезпеченню рослин усіма чинниками й умовами життя. Такі умови створено в районах північно-західного і центрального Лісостепу, за площею вони займають близько третини території України.

Генетично модифіковані (трансгенні) сорти — сорти, ознаки чи властивості яких значно змінюються під впливом генів-модифікаторів. Створюються методом генної інженерії, різняться від традиційних сортів ширшим спектром толерантності (імунності). Наприклад, трансгенні сорти картоплі не уражуються колорадським жуком.

Агроекологічний контроль — система отримання інформації щодо впливу чинників навколишнього середовища на стан і процеси формування врожаю посівів, їх кількісну та якісну структуру.

Нетто-продукція — річний приріст біомаси, що накопичується на одиниці площі агрофітоценозу або луків; приріст біомаси, яка може бути використана людиною.

Хоча останнім часом ми набагато краще й науково глибше розуміємо взаємодії агроекосистем, тільки невелика частка цих знань реалізується на практиці. Найважливіша проблема полягає в необхідності інтенсивного інтегрування наукових знань про ґрунти, водні, рослинні і тваринні ресурси, поєднання їх із системами земле- і водокористування, агротехнологіями, ресурсними й енергетичними можливостями виробничих структур, а також мінливими ґрунтово-кліматичними і соціально-економічними умовами.

У біосфері все взаємопов'язане. Наприклад, при інтенсифікації ерозійних процесів, фізичної й агрохімічної деградації ґрунтового покриву агроландшафт еволюціонує в бік посилення посушливості, зниження біопродуктивності, збіднення біорізноманіття і, як наслідок, зниження стійкості агроекосистем.

На думку академіка О.Г. Тарарико, вирішення проблем створення стійкого і високопродуктивного аграрного виробництва має комплексний системний характер і охоплює такі принципи:

1) оптимізацію структури агроландшафтів за рахунок виведення з активного обробітку частини еродованих, деградованих і малопродуктивних земель, а також відповідного розширення площ природоохоронного значення;

2) забезпечення в умовах реалізації земельної реформи дотримання ґрунтозахисної, контурно-меліоративної організації території і системи землекористування;

3) запровадження адаптованої до ґрунтово-кліматичних умов структури посівних площ і сівозмін з дотриманням строків повернення культур на попереднє місце вирощування;

4) впровадження ґрунтозахисних, енерго- і вологозберігаючих технологій обробітку ґрунту;

5) здійснення ефективного контролю за поширенням бур'янів, хвороб і шкідників;

6) поліпшення гідрологічного режиму агроландшафтів, особливо у Степовій зоні, відновленням старих і створенням нових лісомеліоративних насаджень;

7) проведення детермінованої селекційної роботи.

Дотримання цих принципів дасть змогу значно підвищити не тільки продуктивність, а й стійкість агросистем, під якою розуміють здатність агроекосистеми протистояти наднормативним змінам.

Ефективність реалізації цих положень залежатиме від інженерного забезпечення сталого розвитку системи АПК України загалом. Парадигма сталого розвитку, безумовно, виходить за межі питань, що тут розглядаються, й охоплює весь спектр нашого буття.

Вплив шкідників і хвороби на стійкість агроекосистеми. *Шкідник* — це будь-який біотичний чинник, здатний завдати шкоди господарсько важливому організму (рослині, тварині). *Шкідник рослин* — умовне поняття, яке використовують для визначення видів тварин, рослин, грибів, мікроорганізмів, що спричинюють екологічне порушення життєдіяльності рослин, знижують їх продуктивність.

На сьогодні для усунення цього негативного чинника у функціонуванні агроекосистем в Україні діє потужна служба захисту рослин, методологічною основою роботи якої є інтегрований захист сільськогосподарських рослин.

Інтегрований захист рослин — це система заходів, спрямованих на керування внутрішньо- і міжпопуляційними взаємовідносинами у межах агробіоценозу. До них належать біологічні, технологічні, хімічні та інші методи захисту рослин від шкідливих організмів (шкідників, хвороб, бур'янів) у конкретній зоні на певній культурі.

Чисельність шкідливих видів регулюється до господарсько невідчутного рівня за збереження корисних організмів. Методологічною основою інтегрованого захисту рослин є *еколого-технологічний параметр — поріг шкодочинності* (бур'янів) — мінімальна кількість бур'янів на сільськогосподарських угіддях, за якої шкода від них стає вірогідно відчутною. Це мінливий показник, що залежить від екологічних умов. Орієнтовні економічні пороги шкодочинності бур'янів з урахуванням забур'яненості перед застосуванням гербіцидів становлять, наприклад у посівах озимої пшениці, 16 мало-

річних і 2 — багаторічних бур'яни на 1 м^2; цукрових буряків — відповідно 16 і 1, картоплі — 3 і 1 шт/м^2. Орієнтовні втрати врожаю основних сільськогосподарських культур від найпоширеніших бур'янів наведено в табл. 9.8.

Таблиця 9.8. **Орієнтовні втрати врожаю сільськогосподарських культур, ц/га, від основних видів бур'янів за їх наявності на полях протягом вегетації в кількості 1 шт/м^2**

Вид бур'яну	Конюшина на сіно	Озима пшениця	Цукрові буряки	Кукурудза на силос	Кукурудза на зерно	Горох	Ячмінь
Березка польова	0,70	0,25	6,00	1,24	0,58	0,50	0,36
Галінсога дрібноквіткова	0,23	0,16	3,60	0,38	0,16	0,06	0,08
Гірчак жорсткий	0,41	0,17	3,00	0,46	0,20	0,11	0,88
Гірчиця польова	0,34	0,14	3,00	0,40	0,20	0,08	0,11
Дескурайнія Софії	0,55	0,23	—	—	—	—	—
Жовтушник прямий	0,35	0,17	3,60	0,40	0,19	0,07	—
Зірочник середній	0,12	0,04	1,00	0,10	0,06	0,03	0,02
Лобода біла	0,76	0,27	10,00	1,23	0,48	0,20	0,21
Метлюг польовий	0,81	0,19	—	—	—	—	—
Осот рожевий	1,43	0,68	15,60	2,00	0,98	0,40	0,36
Осот польовий	0,93	0,37	6,00	1,24	0,58	0,24	0,30
Паслін чорний	—	—	3,60	0,04	0,24	0,06	—
Жабрій звичайний	0,34	0,17	3,60	0,40	0,22	0,08	—
Пирій повзучий	0,85	0,55	9,00	0,98	0,48	0,18	0,19
Підмаренник чіпкий	0,24	0,13	3,60	0,59	0,16	0,06	0,11
Просо півняче	0,33	0,17	4,20	0,51	0,02	0,09	0,09
Ромашка непахуча	0,75	0,17	—	0,62	0,29	0,12	—
Фіалка польова	0,20	0,17	—	—	0,10	—	—
Хвощ польовий	0,35	0,16	3,60	0,46	0,14	0,06	—
Щириця звичайна	0,12	0,34	13,50	1,40	0,60	0,23	0,29

Запитання для самоконтролю

1. Що розуміють під стійкістю агроекосистем? **2.** Назвіть основні причини і наслідки порушення стійкості агроекосистеми. **3.** Як нормують антропогенний вплив на агроекосистему? Наведіть приклади. **4.** У чому основний зміст техногенних та біологічних принципів інтенсифікації землеробства? **5.** Схарактеризуйте вплив шкідників і хвороб на стійкість агроекосистем.





Розділ 10

КЕРУВАННЯ СТІЙКІСТЮ АГРОЕКОСИСТЕМИ. МІНІМІЗАЦІЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ — МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ НАДМІРНІЙ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ГУМУСУ

У системі заходів підвищення родючості ґрунту, культури землеробства та врожайності сільськогосподарських культур велике значення має мінімізація обробітку ґрунту. *Мінімізація обробітку* — новий, економічно й екологічно обґрунтований напрям у науці та практиці з обробітку ґрунту, що дає змогу зменшити розпиленість, ущільнення ґрунту, скоротити енергетичні, трудові, матеріальні витрати на механізовані польові роботи зменшенням кількості та глибини обробітків, поєднанням операцій в одному робочому процесі за екологічно обґрунтованого застосування засобів хімізації.

Багаторічними дослідженнями й виробничим досвідом доведено, що мінімізація обробітку ґрунту доцільна за умов, коли обробіток не знижуватиме культуру землеробства, родючість ґрунту, врожайність культур і якість продукції.

Основними умовами ефективного застосування мінімального обробітку ґрунту є:

- оптимальна будова орного шару ґрунту, коли тверда фаза і пористість співвідносяться як 50 : 50, що є основною умовою створення оптимальних водного, теплового, повітряного та поживного режимів ґрунту;
- наявність в орному шарі ґрунту не менш як 40 % агрономічно цінної структури, за якої в ґрунті зберігається постійно розпушений

стан орного шару, від чого значною мірою залежить водний та повітряний режими ґрунту;

- забур'яненість полів, особливо багаторічними рослинами; висока забур'яненість коренепаростковими і кореневищними бур'янами виключає можливість і доцільність мінімізації обробітку ґрунту, однак окремі дослідження засвідчують, що система мінімального обробітку має певні переваги в боротьбі з бур'янами, зокрема з пирієм повзучим;
- високий рівень агротехніки, чітка технологічна дисципліна на полях, своєчасне та якісне проведення всіх польових робіт;
- науково обґрунтоване застосування інтегрованої системи захисту рослин;
- творче врахування основних властивостей ґрунтів і біологічних вимог сільськогосподарських культур та програмування їх урожайності;
- висока технічна озброєність господарств.

За мінімального обробітку ґрунту усувається потреба в найбільш енергоємних операціях — оранці та глибокому розпушуванні. Вони, як і поверхневий та мілкий обробіток ґрунту, поряд зі зміною будови орного шару негативно впливають на ґрунт. Щорічно на оранку в країні витрачається близько 3,3 млн т нафтопродуктів, 40 % енергетичних і 25 % — трудових ресурсів. При вирощуванні зернових культур під час підготовки ґрунту, догляду за посівами, збирання врожаю сільськогосподарські машини проходять полем 5 – 15 разів, внаслідок чого ґрунт ущільнюється й розпилюється, а в кінцевому підсумку знижується його родючість. Часте розпушування ґрунту активує біологічні процеси та мінералізацію органічних речовин, призводить до значних втрат розчинних сполук азоту, фосфору, калію, інших макро- і мікроелементів, знижує гуміфікацію, спричинює водну та вітрову ерозію.

Стійкість родючості ґрунту великою мірою залежить від динамічної рівноваги між процесами гуміфікації й мінералізації органічної речовини. За сільськогосподарського використання ґрунтів динамічна рівновага гуміфікація — мінералізація зміщується в бік посилення мінералізації, знижується вміст гумусу.

Інтенсивний полицевий обробіток, надмірне насичення сівозмін просапними культурами, ерозія, надмірне зрошення, недостатнє внесення органічних добрив — все це призводить до істотного зниження вмісту гумусу.

За останні десятиліття в багатьох країнах світу вміст і запаси гумусу в ґрунтах, що використовуються під ріллю, зменшились на 15 – 25 %, а в деяких — на 50 % попереднього вмісту. Значні втрати гумусу і в усіх ґрунтово-кліматичних зонах України. Середньорічні втрати гумусу за останні 20 років порівняно з темпами його втрат за

попередні 80 років зросли в Лісостеповій зоні в 1,65 раза, Степовій — у 2,4, Поліській — у 8,4 раза. Щорічні втрати гумусу через підвищення темпів мінералізації органічної речовини порівняно з його нагромадженням досягають 18 млн т на всій площі ріллі, або 0,6 т/га за рік.

Лише від водної ерозії середньорічні втрати гумусу становлять у Поліській зоні 2,4 млн т, у Лісостеповій — 10,3, у Степовій — 11, загалом в Україні — 23,7 млн т.

Крім зниження вмісту гумусу в ґрунтах погіршується і його якість. У складі гумусу зменшується частка рухомої фракції й відносно зростає частка інертної. Такий гумус не бере активної участі в енергетичному обміні ґрунту, дуже повільно віддає поживні речовини і тому слабко впливає на ефективну родючість ґрунту навіть за високих його запасів, як наприклад у чорноземних ґрунтах. Значні втрати гумусу супроводжуються погіршенням його групового складу. У дерново-підзолистих ґрунтах зростає вміст фульвокислот, а в чорноземах — зменшується кількість гумінових кислот, внаслідок чого погіршується весь комплекс агрономічно цінних властивостей ґрунтів.

Втрати гумусу нерозривно пов'язані з веденням землеробства, складовою частиною якого є система обробітку ґрунту. Віковий досвід землеробства засвідчує, що при оранці з перевертанням скиби неможливо зберігати й підтримувати запаси гумусу в ґрунтах на належному рівні.

Цілковите припинення або зведення до мінімально допустимих меж втрати ґрунтів внаслідок ерозійних процесів і зниження інтенсивності біологічної мінералізації гумусу спроможні забезпечити регіональні екологічно збалансовані ґрунтозахисні безплужні системи землеробства, важливою ланкою яких поряд із контурно-меліоративною організацією території, комплексом протиерозійних заходів є ґрунтозахисні технології вирощування сільськогосподарських культур, основані на мінімізації обробітку ґрунту. За існуючих обсягів використання органічних добрив лише такий обробіток здатний наблизити процеси гуміфікації до природних і забезпечити вихід землеробства на позитивний баланс гумусу.

10.1. Напрями мінімізації обробітку ґрунту

У сучасному землеробстві застосовують такі основні напрями мінімізації обробітку ґрунту:

- скорочення кількості й зменшення глибини основних, передпосівних і міжрядних обробітків ґрунту в сівозміні у поєднанні із застосуванням гербіцидів для боротьби з бур'янами;

• заміна глибокого обробітку продуктивнішими поверхневими або плоскорізними знаряддями, використання широкозахватних знарядь з активними робочими органами, які забезпечують високоякісний обробіток ґрунту за один прохід;

• поєднання кількох технологічних операцій і заходів в одному процесі застосуванням комбінованих ґрунтообробних і посівних агрегатів;

• зменшення оброблюваної поверхні поля за допомогою впровадження смугового передпосівного обробітку ґрунту при вирощуванні широкорядних культур у поєднанні з гербіцидами;

• пряма сівба, або хімічний чи нульовий обробіток ґрунту, — сівба насіння по стерні або в дернину з попередньою обробкою площі гербіцидами без механічного обробітку ґрунту за винятком формування мілких борозен (щілин), в які висівається насіння.

Перспективним напрямом мінімізації обробітку ґрунту є поєднання виконання кількох технологічних операцій і заходів за один прохід трактора застосуванням комбінованих ґрунтообробних і посівних агрегатів.

Мінімізація обробітку ґрунту дає змогу:

• економити час, робочу силу, паливо, кошти, проводити сівбу в оптимальні строки;

• зводити до мінімуму втрати вологи, органічної речовини, водну й вітрову ерозію;

• зберігати головні переваги непорушеної будови орного шару ґрунту й ущільненої поверхні, що уможливлює раннє випасання тварин на слабко розвиненій дернині багаторічних і однорічних трав;

• вдосконалювати технології сівби й вирощувати два — три врожаї за рік на одній площі.

Головними чинниками, які визначають необхідність застосування мінімізації обробітку ґрунту, є:

• зниження родючості й продуктивної здатності ґрунту через застосування важких тракторів і транспортних засобів;

• необхідність зменшення енергетичних витрат поєднанням кількох операцій за один прохід трактора та кількості й глибини механічного обробітку ґрунту;

• можливість заміни обробітку як способу боротьби з бур'янами на застосування гербіцидів в екологічно допустимих нормах;

• використання для обробітку ґрунту енергонасичених тракторів, комбінованих агрегатів, машин і знарядь з активними робочими органами;

• економія часу, енергетичних і трудових ресурсів.

10.2. Ґрунтообробні знаряддя та технології, їх екологічна оцінка

Мінімізацію обробітку ґрунту забезпечують застосуванням таких ґрунтообробних знарядь:

- комбінований агрегат АКП-2,5, АКП-5 за один прохід виконує дискування верхнього шару ґрунту, розпушування нижнього шару плоскорізами, вирівнювання поверхні та коткування; за один прохід він готує ґрунт до сівби; продуктивність — 2,2 га/год;
- комбінований агрегат з активними робочими органами АКР-3,6 готує ґрунти важкого гранулометричного складу на глибину до 12 см до сівби озимих, післяукісних і післяжнивних культур;
- комбінований агрегат КА-3,6, призначений для одночасного виконання передпосівного обробітку ґрунту, рядкової сівби зернових і зернобобових культур, внесення мінеральних добрив і коткування; складається з культиватора фрезерного глибокорозпушувача КФГ-3,6, причіпного пристрою та посівної частини;
- комбінований агрегат ЗКА-5,4 виконує передпосівний обробіток ґрунту — культивацію, боронування, вирівнювання поверхні, припосівне внесення мінеральних добрив, коткування рядків і сівбу зернових культур за один прохід; причіпний і широкозахватний (10,8 м); продуктивність — 11 га/год;
- культиватор фрезерний-сівалка КФС-3,6 за один прохід виконує передпосівний обробіток ґрунту фрезеруванням, вирівнювання поверхні, рядкову сівбу, коткування; продуктивність — до 2,75 га/год;
- ґрунтообробний комбінований агрегат РВК-3,6; РВК-5,4; РВК-7,2, ВІП-5,6 за один прохід трактора проводить культивацію ґрунту на глибину до 15 см, вирівнювання поверхні, коткування; продуктивність РВК-3,6 — 2,8 га/год, РВК-5,4 — 5,4, РВК-7,2 — 7,2 га/год;
- ґрунтообробний комбінований агрегат АКЛЗ-5,4 призначений для передпосівного обробітку ґрунту, внесення добрив, сівби зернових культур і льону; продуктивність — 5,4 га/год;
- комбінований агрегат ЛДС-6 — лущильник-сівалка, розпушує ґрунт, висіває насіння зернових, вносить добрива, проводить коткування;
- сівалка-культиватор зерново-стерньова СЗС-2,1М, СЗМ-2М розпушує ґрунт смугою, підрізує бур'яни, вносить добрива, виконує коткування та сівбу.

На чистих від багаторічних бур'янів ґрунтах, передусім чорноземних, темно-сірих опідзолених, добре окультурених дерново-підзолистих, після цукрових буряків, картоплі, кукурудзи, однорічних трав і зернобобових культур оранку під озимі пшеницю, жито, тритикале і ячмінь доцільно замінити на мілкий обробіток дисковими

знаряддями в агрегаті з важкими зубовими боронами у два сліди або на плоскорізний обробіток голчастою бороною БІГ-3 на глибину 10 – 12 см. Поверхневий обробіток ґрунту після зазначених попередників під ярі та озимі зернові слід проводити дисковими знаряддями БД-10, ЛДГ-5, БДН-3, БДТ-3, БДТ-7, а також плоскорізами КПП-2,2, КПГ-250, КПГ-2-150, КПБ-5, плугами-лущильниками ПЛН-5-25, ПЛП-10-25. Після поверхневого обробітку всі наступні операції в разі потреби проводять культиваторами КПС-4, обладнаними стрілчастими лапами, голчастою бороною БІГ-3 або БІГ-3А, а також комбінованим агрегатом РВК-3,6, РВК-5,4.

На оглеєних ґрунтах важкого гранулометричного складу, особливо під просапні культури, доцільно застосовувати плоскорізні ґрунторозпушувачі КПГ-2,2, КПГ-250 і чизель-плуги ПЧ-2,5, ПЧ-4,5, які розпушують ґрунт на глибину до 28 – 30 см, не вивертаючи на поверхню глейового горизонту. При цьому органічні добрива слід загортати дисковими боронами БДТ-3, БДТ-7, а для передпосівного обробітку використовувати борони БІГ-3 або БІГ-3А.

В останні роки широко застосовують мінімальний обробіток ґрунту під проміжні культури, які вирощують з метою отримання додаткових кормів, а також на зелене добриво.

Після збирання озимого жита, ріпаку, озимих сумішок на зелений корм слід відразу приступати до підготовки ґрунту під післяукісні посіви. Для цього краще використовувати знаряддя для поверхневого обробітку ґрунту БДН-3, БДТ-3, БДТ-7 в агрегаті із зубовими боронами, плугами-лущильниками ПЛ-5-25, ПЛ-10-25, плоскорізами КПП-2,2, КПГ-250, чизель-плугами ПЧ-2,5, ПЧ-4,5 в агрегаті з голчастими боронами БІГ-3, БІГ-3А.

Екологічну оцінку технологій обробітку можна проводити за показниками розширеного відтворення гумусу та родючості ґрунту.

Гумусний стан ґрунту, його режими та властивості тісно взаємозв'язані на рівні коефіцієнтів кореляції r = 0,90…0,95. Гумусний стан — основа усіх властивостей ґрунту, тому за вмістом і балансом гумусу можна судити про рівень родючості ґрунту та екологічні умови на полях.

Наукові дослідження і практичний досвід засвідчують, що застосування мінімального обробітку ґрунту сповільнює мінералізацію та втрати гумусу (табл. 10.1).

Згідно з даними таблиці, технологія мінімального обробітку порівняно з полицевим сприяє накопиченню гумусу 0,03 – 0,16 т/га і збільшенню продуктивності сівозміни на 2 – 3 ц/га кормових одиниць за відсутності втрат ґрунту від ерозії — дуже негативного агроекологічного чинника.

Важливу роль ґрунтозахисного мінімального обробітку в розширеному відтворенні гумусу та родючості ґрунту переконливо засвід-

чують результати досліджень М.К. Шикули, О.Ф. Ігнатенко та ін. (табл. 10.2).

Таблиця 10.1. **Екологічна ефективність різних технологій обробітку ґрунту** (за І.В. Веселовським та С.В. Бегеєм)

Показник	Обробіток					
	Полицевий	Плоскорізний	Плоскорізний + мульчування	Мінімальний	Мінімальний + мульчування	Мінімальний + щілювання
Втрата ґрунту від ерозії, т/га	6,7	1,1	0	0	0	0
Накопичення гумусу, т/га	1,33	1,36	1,49	1,36	1,49	1,36
Продуктивність сівозміни, ц/га кормових одиниць	35	37	38	37	38	37

Таблиця 10.2. **Вплив обробітку та удобрення на зміну вмісту гумусу в орному шарі чорнозему типового за 1980 – 1988 рр., %**

Система удобрення на 1 га сівозміни	Система обробітку ґрунту					
	Полицева		Комбінована		Ґрунтозахисна мінімальна	
	Вміст гумусу	± до контролю	Вміст гумусу	± до контролю	Вміст гумусу	± до контролю
Початковий вміст гумусу в 1980 р.						
Без добрив (контроль)	2,96	—	2,94	—	3,07	—
Вміст гумусу в 1988 р.						
Без добрив (контроль)	2,88	–0,07	2,91	–0,03	3,06	–0,01
Гній, 12 т	2,95	–0,01	2,96	+0,02	3,16	+0,09
Гній 12 т + + $N_{78}P_{70}K_{78}$	2,99	+0,03	3,02	+0,08	3,31	+0,24
Солома 2,4 т + N_{24}	2,96	0	2,96	+0,02	3,24	+0,17
Солома 2,4 т + N_{24} + + $N_{78}P_{70}K_{78}$	2,98	+0,02	2,99	+0,05	3,41	+0,34

Примітка. $НІР_{0,5}$ для добрив становить 0,04, для обробітку ґрунту — 0,06 %.

Згідно з даними табл. 10.2, у варіантах з оранкою втрати гумусу найбільші (–0,07 %), у варіантах з мілким безплужним обробітком — найменші (–0,01 %). Внесення гною і соломи за полицевого обробітку забезпечило бездефіцитний баланс гумусу, а за ґрунтоза-

хисного мінімального обробітку — вірогідний приріст гумусу (+0,09 %). Доповнення гною і соломи мінеральними добривами під час оранки сприяло підвищенню вмісту гумусу в межах похибки досліду (+0,02…0,03 %), а за ґрунтозахисного мінімального обробітку — значному приросту вмісту гумусу (+0,24…0,34 %).

Отже, за полицевого обробітку ґрунту розширене відтворення гумусу не відбувалося. Розширене відтворення гумусу та родючості ґрунту забезпечував ґрунтозахисний мінімальний обробіток. Комбінований обробіток, за якого під просапні культури ґрунт орали, а під зернові — застосовували ґрунтозахисний мінімальний обробіток, характеризувався проміжними показниками як стосовно відтворення гумусу, так і врожайності сільськогосподарських культур.

Отже, ґрунтозахисний мінімальний обробіток має велике значення для поліпшення екологічних умов ґрунту й отримання екологічно чистої продукції рослинництва.

10.3. Шляхи збільшення ресурсу органічної речовини ґрунту

Органічна речовина ґрунту — це сукупність живої біомаси й органічних решток рослин, тварин, мікроорганізмів, продуктів їхнього обміну та специфічних новоутворень органічної речовини ґрунту — гумусу. Цей складний комплекс різноманітних органічних речовин поділяють на дві групи:

- негуміфіковані органічні речовини рослинного або тваринного походження;
- органічні речовини специфічної природи — гумусові, або перегнійні.

До негуміфікованих органічних речовин переважно входять відмерлі, але ще не розкладені або напіврозкладені рослинні і тваринні рештки, які є в ґрунті, тіла́ мікроорганізмів.

У ґрунті в невеликих кількостях містяться різноманітні індивідуальні органічні сполуки — проміжні продукти розкладання рослинних решток, тіл мікроорганізмів і ґрунтових тварин, вуглеводи (клітковина, крохмаль, геміцелюлоза тощо), органічні кислоти, білкові та інші азотовмісні органічні речовини (амінокислоти, аміди), жири, смоли, альдегіди, поліуронові кислоти та їхні похідні, дубильні речовини, лігнін. На негуміфіковану частину припадає близько 10 – 15 % загального запасу органічної речовини ґрунту. Ці органічні речовини відіграють важливу роль у життєдіяльності ґрунту та його родючості. Вони є важливим джерелом поживних речовин для рослин, тому що відносно легко розкладаються в ґрунті. Частина їх, розклавшись, перетворюється на складні органічні сполуки специфічної природи і стає джерелом гумусоутворення.

Гумусові речовини — це високомолекулярні азотовмісні сполуки специфічної природи. Їх вміст досягає 85 – 90 % загальної кількості органічної речовини ґрунту. До їх складу входять гумінові кислоти, фульвокислоти та гуміни.

У ґрунті безперервно відбуваються процеси утворення і розкладання гумусу за рахунок надходження рослинних решток та їх мінералізації. Залежно від того, який із цих процесів переважає, загальна кількість гумусу в ґрунті збільшується або зменшується.

Хоча вміст органічної речовини в ґрунті відносно невеликий, вона відіграє дуже важливу роль у формуванні його родючості та живленні рослин. У ній акумульований майже весь запас азоту, значна частина фосфору, сірки, а також невеликі кількості калію, кальцію, магнію та інших елементів.

Основними шляхами збільшення ресурсу органічної речовини ґрунту є:

- сумісне внесення органічних і мінеральних добрив;
- висівання сидератів та багаторічних трав;
- залишання на полі високої стерні зернових культур, соломи та інших рослинних решток;
- раціональний обробіток ґрунту;
- дотримання оптимального співвідношення зернобобових і просапних культур у сівозмінах;
- застосування меліорантів (вапно, дефекат, гіпс та ін.);
- використання проміжних культур (підсівних, післяукісних, післяжнивних).

Найважливішу роль у збільшенні вмісту органічної речовини в ґрунті та її найціннішої складової частини — гумусу відіграють кореневі і післяжнивні рештки, органічні добрива, розширені посіви багаторічних трав (особливо бобових), вирощування проміжних культур, сидератів і залишання на полі побічної продукції.

За масою кореневих решток у ґрунті польові культури поділяють на чотири групи:

- багаторічні трави (буркун, люцерна, конюшина, еспарцет), які залишають у ґрунті понад 4 т/га негуміфікованих решток;
- кукурудза на зерно або силос — 3 – 4 т/га решток;
- зернові колосові культури, соняшник — 2 – 3 т/га свіжої органічної маси;
- горох на зерно, цукрові буряки, картопля — близько 2 т/га кореневих решток.

Важливим джерелом поповнення ґрунту органічними речовинами є післяжнивні рештки, маса яких залежить від способу збирання, висоти зрізування культури під час збирання, її біології, технології вирощування, величини врожаю. З підвищенням урожаю культур маса післяжнивних і кореневих решток збільшується.

10.4. Азотні добрива та бобові рослини — чинники ефективності гуміфікації

За сучасним визначенням, *гуміфікація* — це процес біохімічного перетворення органічних решток рослинного і тваринного походження та продуктів життєдіяльності організмів на високомолекулярні гумусові речовини темного забарвлення.

З усіх видів мінеральних добрив азотні (крім калієвої, натрієвої і кальцієвої селітр) за дією на ґрунт є найагресивнішими. Уже під час розчинення амонійних і амонійно-нітратних добрив у результаті їх гідролізу в ґрунт виділяється кислота. Надалі внаслідок абіотичного і біологічного вбирання амонію, а також нітрифікації цей процес посилюється. Встановлено, що дія на ґрунт 1 кг азотних добрив рівноцінна дії 0,5 – 1,5 кг концентрованої сірчаної кислоти. Виділена кислота і меншою мірою залишковий амоній добрив призводять до дегуміфікації та загального погіршення властивостей ґрунту.

Азот добрив, активуючи життєдіяльність мікроорганізмів, сприяє інтенсивній мінералізації гумусу ґрунту.

Проаналізувавши понад 30 друкованих праць провідних учених, В.М. Кудеяров дійшов висновку, що 1 кг азоту мінеральних добрив спричинює мінералізацію від 1 до 20 кг гумусу.

Особливо руйнівним для ґрунту є внесення водного технічного та рідкого синтетичного аміаку. У місцях його підвищеної концентрації створюються локальні осередки, в яких pH ґрунтового розчину становить близько 9 і більше. В цих осередках гумус розчиняється і «тече», гинуть мікро- та мезофауна і флора, відбуваються дегуміфікація, декальцинація, деструктуризація, що призводить до погіршення агрофізичних та агробіологічних властивостей ґрунту.

Щоб зменшити негативну дію азотних добрив на ефективність гуміфікації, необхідно:

- суворо дотримуватись науково обґрунтованих норм, строків, способів і форм внесення добрив;
- максимально наближати строки внесення добрив до періоду інтенсивного вбирання азоту рослинами;
- вносити водний технічний та рідкий синтетичний аміак лише на високобуферних ґрунтах і в дозах не більш як 120 – 150 кг/га азоту;
- забезпечувати максимальну рівномірність внесення азотних добрив;
- збільшувати надходження в ґрунт свіжих органічних речовин, бідних на азот, насамперед кореневих і післяжнивних решток;
- якомога частіше контролювати вміст азоту в ґрунті та рослинах за pH ґрунтового розчину, проводити відповідні коригування норм і строків внесення азотних добрив, вапна.

Позитивним чинником ефективності гуміфікації є бобові рослини, які містять в 1,5 – 2 рази більше білка, ніж зернові культури. Бобові рослини збагачують ґрунт екологічно чистим і економічно дешевим азотом. З післяжнивними та кореневими рештками бобові рослини залишають у ґрунті від 50 до 170 кг/га азоту, а також біологічно активні речовини — антибіотики, вітаміни, ферменти, амінокислоти.

Швидкість перетворення органічних решток визначається їх хімічним складом, у решток бобових рослин він близький до природного опаду. Водорозчинні органічні сполуки (крохмаль, пектин, білок) розкладаються швидше, ніж інша група органічних сполук (целюлоза, лігнін). Тому процеси гуміфікації кореневих і післяжнивних решток бобових рослин відбувається інтенсивніше, ніж злакових зернових культур.

Післяжнивні та кореневі рештки бобових культур характеризуються вужчим відношенням вуглецю до азоту, розкладаються швидше і сприяють утворенню більшої кількості гумінових кислот, які взаємодіють з кальцієм, магнієм, іншими катіонами ґрунту і закріплюють у гумусі поживні речовини. Органічні рештки бобових рослин перетворюються на гумус з найвищим коефіцієнтом гуміфікації (0,23 – 0,25), причому процеси гуміфікації значно переважають над процесами мінералізації.

Отже, під час розкладання органічної маси бобових рослин підвищується ефективність гуміфікації, утворюються гумінові сполуки, поліпшуються фізико-хімічні властивості ґрунту, зростає його родючість.

10.5. Вермикомпостування: оцінка ефективності, технологія та перспективи застосування біогумусу

Останнім часом поширюється один із нових напрямів біотехнології — *вермикультивування*, що полягає в промисловому розведенні деяких форм дощових черв'яків. Формування й розвиток його зумовлені можливістю вирішення на біологічній основі важливих екологічних завдань — утилізації органічних відходів, виробництва високоякісного чистого органічного добрива, підвищення родючості ґрунту, вирощування екологічно чистої продукції рослинництва, істотного обмеження забруднення навколишнього середовища та ін.

Вермикультура — це компостні черв'яки в органічному субстраті. Іноді під цим терміном розуміють тільки черв'яків або, навпаки, тільки субстрат. Вермикультуру можна уявити як складне біоценотичне угруповання, обмежене певним біотопом у складі культурного ландшафту.

Дощові черв'яки — найбільші представники безхребетних, які входять до складу ґрунтової макрофауни. На їх частку припадає не менш як половина всієї біомаси ґрунту. Щільність їх заселення досягає в середньому 120 особин/м^2, а біомаса — 50 г/м^2 (за маси тіла одного черв'яка 0,5 – 1,5 г). У сприятливі періоди можлива щільність дощових черв'яків у ґрунті 400 – 500 особин/м^2.

Основне джерело їх живлення — рослинні рештки. Вони сприяють перемішуванню й розпушенню ґрунту, накопиченню органічної речовини, з якої утворюється гумус. Присутність черв'яків може бути тестом на збагаченість ґрунту на органічну речовину. Дощові черв'яки поліпшують аерацію ґрунту, інтенсифікують процеси гумусоутворення, нітрифікації та амоніфікації. Вони вологолюбні й помірно теплолюбні. Оптимальна температура для їх живлення 20 – 25 °С, для розмноження — 12 – 17 °С. Вимогливі до аерації ґрунту. Оптимальна реакція середовища — нейтральна або слабкокисла. Для культивації черв'яків непридатні піщані, глинисті, кислі і засолені ґрунти. Вони не витримують надмірної хімізації ґрунтів і гинуть.

Велика роль черв'яків у поліпшенні ґрунтів сприяла значній зацікавленості в їх штучному розмноженні. Так, внаслідок багаторічної селекційної роботи американські дослідники в 1959 р. в Каліфорнії вивели новий різновид дощових черв'яків, який назвали «каліфорнійським гібридом червоного черв'яка» або просто «каліфорнійським червоним черв'яком». Із 1979 р. його розмножують у Західній Європі та Японії.

За плодючістю й активністю цей гібрид значно перевищує звичайних дощових черв'яків і на відміну від них добре вирощується у штучних умовах. Вони цілодобово переробляють відходи з високим коефіцієнтом корисної дії (із використаної поживи засвоюється 40 %, а 60 % — після перетравлення виділяється у вигляді екскрементів — копролітів, тобто біогумусу).

Копроліти містять у 5 разів більше біологічного азоту, в 7 разів багатші на фосфор і в 11 разів — на калій порівняно з поверхневим шаром родючого ґрунту. В копролітах є значна кількість кальцію, що забезпечує добру водостійку структуру й високу водоутримувальну здатність ґрунту. Крім того, кальцій знижує кислотність ґрунту і створює умови, несприятливі для розвитку хвороб рослин — фузаріозу, іржі, бактеріозу та ін. Поблизу копролітів інтенсивно розвивається корисна мікрофлора. Дощові черв'яки, як і інші живі організми, збагачують ґрунт макро- і мікроелементами, ростовими речовинами, антибіотиками. Фермент протеаза, що входить до складу біомаси черв'яків, виявляє біостимулювальну дію, поліпшує засвоєння кормів тваринами, сприяє прискоренню їх росту, активує фізіолого-біохімічні процеси в організмі.

Маса копролітів, щорічно утворювана черв'яками в природних умовах, дуже велика. Так, на полі багаторічних трав на дерново-підзолистому ґрунті (черв'яків — 180 особин/м^2) за рік утворюється 53 т/га копролітів. На зрошуваних ґрунтах їх продуктивність збільшується в 2 – 3 рази.

В останні роки в нашій країні значну увагу приділяють використанню дощових черв'яків для переробки різних відходів (гною, пташиного посліду, соломи, листя, решток силосу, сіна, відходів харчової, м'ясної, плодоовочевої промисловості, комунального господарства). Дослідження засвідчують, що за допомогою черв'яків органічні відходи в короткий термін можна перетворити на добрива, які містять елементи живлення рослин у доступній для них формі і мають стійку до розмивної дії води зернисту структуру. Заселені черв'яками відходи швидко втрачають неприємний запах.

Вермикомпости дозрівають швидше, ніж компости, отримані традиційним способом. Вермикомпостування ґрунтується на здатності черв'яків проковтувати часточки органічної речовини, транспортувати їх у кишкову порожнину й виділяти у вигляді копролітів.

На основі культури черв'яків виготовляють найцінніше органічне добриво — *біогумус*. Це грудкувата мікрогранулярна речовина коричнево-сіруватого кольору із запахом ґрунту. Біогумус містить у добре збалансованій і легкозасвоюваній формі всі необхідні для живлення рослин речовини. Середній вміст сухої органічної маси в біогумусі становить 50 %, гумусу — 18 %; його реакція сприятлива для рослин і мікроорганізмів — pH 6,8 – 7,4, загального азоту — 2,2 %, фосфору — 2,6, калію — 2,7 %. Крім того, в ньому виявлено практично всі необхідні мікроелементи й біологічно активні речовини, серед яких ферменти, ростові речовини, вітаміни, гормони, антибіотики, ауксини, гетероауксини, 18 амінокислот і корисна мікрофлора.

У кращих зразках біогумусу в 1 г міститься кілька мільярдів клітин мікроорганізмів, що значно більше, ніж у зразках гною (близько 150 – 350 млн клітин). Біогумус має високу ферментативну активність. У його органічній речовині значна кількість гумінових кислот ($C_{г.к}$ = 31,7…41,2 %) і менше фульвокислот ($C_{ф.к}$ = 22,3…34,8 %). В гумінових кислотах переважає найцінніша фракція — гумати кальцію (43,3 – 47,6 %). Наявність у вермикомпості фульвато-гуматного типу гумусу ($C_{г.к} : C_{ф.к}$ = 1,18…1,42) сприяє формуванню агрономічно цінної структури ґрунту. Елементи живлення у процесі взаємодії з органічними кислотами утворюють складні комплексні сполуки, тому вони надійно зберігаються від вимивання, повільно розчиняються у воді й забезпечують живлення рослин на тривалий час (не менш як 2 – 3 роки).

Біогумус різнобічно позитивно впливає на агрохімічні, фізико-хімічні й біологічні властивості ґрунту. Він містить комплекс корис-

них речовин і тому може використовуватись для всіх сільськогосподарських культур, але особливо корисний для тих, які потребують поживних речовин у концентрованій формі, збалансованих за хімічним складом.

Черв'яки виділяють із субстрату кальцій і тим самим знижують кислотність середовища. Коефіцієнт гуміфікації субстрату — 15 – 25 %, тоді як для гною він становить близько 10 %. Внаслідок інтенсивної ферментації біогумус збагачений великою кількістю біологічно активних речовин (ауксинів, гетероауксинів тощо), які значно ослаблюють стрес рослин, особливо розсади при висаджуванні у ґрунт, підвищують її приживлюваність, прискорюють проростання насіння, збільшують стійкість рослин до захворювань, впливають на їх ріст, розвиток і тим самим сприяють отриманню ранньої продукції високої біологічної якості, придатної для тривалого зберігання. Біогумус має також інші цінні властивості: великі вологомісткість, вологостійкість, гідрофільність, механічну міцність, не містить насіння бур'янів. Він здатний утримувати до 70 % води і в 15 – 20 разів ефективніший за будь-яке органічне добриво.

Агрохімічні властивості біогумусу середнього зразка такі: кислотність (pH) 6,5 – 7,2, вміст сухої органічної маси — 40 – 60 %, гумусу — 10 – 12, загального азоту — 0,9 – 3,0, фосфору (P_2O_5) — 1,3 – 2,5, калію (K_2O) — 1,5 – 2,5, кальцію — 4,5 – 8,0, магнію — 0,5 – 2,3; заліза — 0,2 – 2,5 %, міді 3,5 – 5,1 мг/кг; мангану 60 – 80; цинку — 28 – 35 мг/кг; вологість — 40 – 50 %; бактеріальна форма — до 20 трлн колоній в 1 г біогумусу.

Елементи живлення знаходяться в органічній формі, тому надійно зберігаються від вимивання. Внаслідок розкладання біогумусу мікроорганізмами вивільнюються макро- і мікроелементи, рослини забезпечуються вуглеводами, необхідними для фотосинтезу. При внесенні біогумусу, що характеризується високою буферністю, у ґрунтовому розчині не утворюється надлишкова концентрація солей, що простежується в разі внесення високих доз мінеральних добрив.

Особливої цінності вермикомпостам надають гумінові кислоти, вміст яких коливається від 5,6 до 17,5 % у перерахунку на суху речовину. У вермикомпостах крім розкладених відходів міститься також певна кількість відмерлих черв'яків, що також підвищує їх цінність.

Якість біогумусу оцінюють за міжнародним стандартом, який ставить такі вимоги: вологість — 30 – 40 %; органічна речовина — 20 – 30 %; водорозчинні солі — 0,5 %; pH — 6,5 – 7,5; загальний азот — не менш як 1,5 %; P_2O_5 — 1,2 – 1,5 %; K_2O — 1,1 – 1,2 %; C : N — 15; Mg — 1 %; Ca — 4 %.

Біогумус не повинен містити речовин, які біологічно не переробляються (полімери, камінь, скло), рослин, здатних до розмноження. Допустимі параметри патогенних збудників хвороб людини в 1 г біогумусу такі: фекальний стрептокок — 10 шт., коліформ — 10 шт., сальмонела не повинна виявлятися в 20 г біогумусу.

Поживні речовини біогумусу повільно розчиняються у воді, й отже, можуть тривалий час живити рослини. Гранульовані гумусні добрива за вмістом гумусу переважають гній і компости в 4 – 8 разів.

Підсушений біогумус просіюванням розділяють на три фракції: дуже дрібна — гранули до 1 мм; дрібна — до 2 мм; добірна — до 3 мм.

За чутливістю до біогумусу рослини поділяють на:

- високочутливі — багаті на вуглеводи (картопля, морква, кормові, цукрові і столові буряки, плодові культури), при внесенні біогумусу приріст їх урожаю досягає 35 % і більше;
- добре чутливі (озима та яра пшениця, жито, ячмінь, овес, рис, просо, гречка, кукурудза на зерно, сорго), які на біогумус реагують досить добре, приріст урожаю становить 25 % і більше;
- середньочутливі — бобові культури (горох, кормові боби, нут, соя, сочевиця), а також буркун, люцерна, еспарцет та ін., які задовільно реагують на біогумус і забезпечують приріст урожаю до 15 %;
- слабкочутливі — олійні та ефіроолійні культури (соняшник, ріпак, гірчиця, коріандр та ін.), які слабко реагують на біогумус.

При розведенні черв'яків ставляться дві мети: розведення їх для отримання біогумусу та відтворення черв'яків, або так зване маточне розведення. Розводити їх можна як у відкритому, так і захищеному місці. Із багатьох видів для розведення краще використовувати червоний гібрид (комерційна назва — «каліфорнійський»).

Основним технологічним засобом при вирощуванні черв'яків є ложе — грядка з органічної поживної маси (субстрату) завдовжки 2 м, завширшки — 1 м, заввишки — 0,4 – 0,6 м. Площа одного ложа — 2 м^2. Для нього на рік потрібно 1,0 – 1,2 т органічної маси. Оптимальним вважається вермигосподарство, що складається із 1200 лож корисною площею не менш як 1 га.

Оптимальна щільність заселення черв'яками одного ложа 50 – 100 тис. дорослих і молодих особин, а також коконів з яйцями. Встановлено, що від щільності заселення ложа залежить продуктивність вермикультури. Якщо щільність надмірна, то підвищується збудженість черв'яків і виникає стрес, спричинений перенаселенням, що негативно позначається на їх розмноженні. За низької щільності продуктивність черв'яків і вихід біогумусу також зменшується. Для розведення маточних особин використовують стандартні ложа, щільність заселення якого становить від 1,5 – 2,0 до 10 – 12 тис. осо-

бин/м^2. При визначенні оптимальної щільності заселення субстрату слід виходити з кінцевої мети: займатиметься вермигосподарство розведенням черв'яків чи виробництвом біогумусу, або тим і іншим одночасно. Знаючи число лож, приблизну кількість черв'яків у них, середній склад популяції за віковими групами (молоді — 60,1 %, дорослі — 21,8, кокони — 18,1 %), в кожному конкретному випадку можна розрахувати масу потрібного корму (або підживлення). Підживлюють субстрат для черв'яків органічною речовиною, в тім числі побутовими та іншими відходами, в які для створення пухкої структури додають у різних пропорціях тверді органічні компоненти — наповнювачі. Ними можуть бути кора дерев, листки (крім свіжої хвої) та ін. У розрахунку на ~100 тис. черв'яків потрібно близько 1000 кг/рік субстрату.

До структури субстрату та його хімічних параметрів ставлять особливі вимоги: його вологість має бути 70 – 80 %, він не повинен містити предметів, що не розкладаються (каміння, метал, скло тощо), мати нейтральну реакцію середовища (оптимальний pH 6,8 – 7,2) і вміст оксидів заліза не більш як 10 %.

Поживний субстрат має бути напіврідкої консистенції, добре подрібненим, оскільки найбільші часточки, які може проковтнути каліфорнійський черв'як, мають розмір до 1 мм. Вважають, що черв'яки з'їдають поживу в кількості, що дорівнює масі їхнього тіла (близько 1 г); 40 % поживи засвоюється, а 60 % — виділяється у вигляді копролітів.

Якість субстрату підвищується в разі додавання відходів баштанних і плодоовочевих культур у поєднанні з 10 % вапнякових матеріалів (дефекат, крейда, вапно, мергель, сланцева зола та ін.). Основними умовами придатності субстрату є його однорідність і добра аерація, а також співвідношення C : N, яке в готовому субстраті має дорівнювати 20. Незалежно від того, яка органічна речовина використовується, вона повинна містити не менш як 20 – 25 % клітковини у вигляді солом'яної січки, паперу, картону та ін.

У кормах, призначених для черв'яків, має міститись не більш як 20 – 30 % протеїну, оскільки більший вміст може призвести до їх загибелі.

Підготовлений субстрат проходить стадію ферментації, під час якої гинуть яйця та личинки гельмінтів, а також насіння бур'янів. Ферментацію можна проводити як у природному, так і в прискореному режимі. За природного режиму процес триває 6 – 7 міс залежно від виду органічних відходів, за прискореного — 1 – 3 міс. Для забезпечення прискореного режиму ферментації органічні відходи складають у купи, в які потім по трубах подають гарячу пару температурою 50 – 60 °C. Субстрат, який не саморозігрівається, розстеляють шаром завтовшки 20 – 30 см і завширшки 1 – 1,5 м, зволожу-

ють до 70 – 80 % повної вологоємності й витримують упродовж 10 – 15 діб. Після цього заселяють черв'яками з розрахунку 1,5 – 2,5 тис. особин/м^2. Для збереження вологості субстрат накривають посіченою соломою або мішковиною.

Підсумковим результатом визначення придатності базового субстрату є «проба 50 черв'яків»: якщо в разі заселення субстрату (взятого в невеликій кількості) 50 черв'яками при денному або сильному штучному освітленні вони відразу ж заглиблюються в органічний матеріал і знаходяться там протягом доби, то субстрат готовий для його заселення черв'яками. Якщо ж вони виповзають на поверхню, то субстрат непридатний для вермикультивуваня і потребує перевірки. Швидкість розкладання субстрату під дією черв'яків у 2 – 3 рази більша за швидкість дозрівання гною.

Взимку черв'яків бажано утримувати в закритому теплому приміщенні за температури не нижче як 10 °С, за температури 7 °С вони впадають у стан анабіозу. Найкращим кормом для них у зимовий період є гній з вмістом не менш як 20 % соломи.

Метод вермикомпостування успішно можна застосовувати для переробки органічних відходів на індивідуальних ділянках. Для цього відходи збирають у купу, зволожують і залишають перегнивати. Через 1 – 1,5 міс, коли закінчиться процес саморозігрівання, накопичену масу заселяють черв'яками (із розрахунку близько 1 тис. особин/м^2). Через 3 – 4 міс (залежно від якості субстрату та кліматичних умов) компост готовий.

Відокремлюють черв'яків від компосту простим способом: поряд із вермикомпостною купою влаштовують нову, зі свіжих відходів, куди вони переповзають у пошуках поживи. Можна також скористатися металевим ситом з отворами близько 2 мм, через які ґрунт просіюється, а черв'яки залишаються в ситі. За 2 – 3 прийоми із ложа можна вибрати близько 97 % популяції, а 3 %, що залишилися, доцільно зберігати в органічній масі.

Дощові черв'яки не мають жодних органів захисту, тому можуть піддаватися нападу будь-яких тварин: пацюків, мишей, змій, жаб, птиці. Особливо небезпечні для них кроти. Тому при розведені черв'яків слід передбачати різні загорожі, наприклад металеву сітку, яка б запобігала потраплянню в середину ложа ворогів. Сітку встановлюють з боків ложа та в інших місцях вирощування черв'яків.

Певну загрозу становлять також мокриці, міль, мурашки, оскільки вони живляться переважно жирами і цукрами, які містяться в кормі, і тому є конкурентами черв'яків. Серед паразитів дощових черв'яків помітна роль мух, небезпечні шкідники для них також нематоди.

Використання як добрив продукту переробки відходів виробництва за допомогою вермикультури істотно зменшує витрати на збага-

чення ґрунтів поживними речовинами, підвищується можливість отримання екологічно безпечної продукції. І що дуже важливо — створюються умови для утилізації (з великою користю) значних обсягів органічних відходів.

Дози внесення біогумусу залежать від вмісту гумусу, елементів живлення в ґрунті, у вермикомпості та від виду сільськогосподарських культур. Оптимальними дозами є 3 – 3,5 т/га біогумусу за розкидного способу внесення і 250 – 300 кг/га — за локального. Максимальна доза — 4 т/га. Біогумус вносять трьома основними способами:

- рівномірним розсіванням по поверхні ґрунту сівалкою для мінеральних добрив із зароблянням культиватором;
- локальним внесенням у рядки під час сівби, висаджування розсади, садіння дерев;
- підживленняи рослин кореневим або позакореневим способом.

На малопродуктивних ґрунтах вносять 3 т/га біогумусу через кожні 4 роки.

Дослідження, проведенні в нашій державі, в інших країнах, засвідчують високу ефективність біогумусу для підвищення врожаю й отримання екологічно чистої продукції, причому застосування біогумусу забезпечувало приріст урожаю зернових на 30 – 40 %, кукурудзи — на 30 – 50, пшениці — до 20, цукрових буряків — до 20, картоплі — на 30 – 70, овочевих культур — до 35 – 70 %. Біогумус також запобігає або зводить до мінімуму захворювання рослин. В разі внесення біогумусу під льон-довгунець рослини не уражувались фузаріозом, іржею, антракнозом, бактеріозом, тоді як у контрольному варіанті, а також при застосуванні сухих і рідких мінеральних добрив їх ураженість становила 8 – 17 %.

Доведено також здатність черв'яків і біогумусу зв'язувати радіонукліди та важкі метали, які містяться в ґрунті, органічних і мінеральних добривах, різко зменшувати їх надходження в рослини. Виявлено позитивний вплив біогумусу на зменшення вмісту нітратів у продукції рослинництва.

Крім виробляння біогумусу вермикультура перспективна для різнобічного використання, що зумовлено високою поживною цінністю біомаси, вмістом речовин, які перешкоджають виникненню і розвитку хвороб, тощо.

Розглядаючи можливості використання вермикультури у тваринництві, варто зауважити, що з 1 т органічних відходів, перероблених черв'яками, крім 600 кг біогумусу отримують 100 кг біомаси черв'яків. Маса сухої речовини в тканинах їхнього тіла досягає 17 – 23 %, вміст сирого протеїну — 60 %, ліпідів — 6 – 9, вуглеводів — 17, жирів — 4,5, мінеральних солей — 15, азотних екстрактивних речовин — 7 – 16 %. Із тіл черв'яків після відповідної обробки отримують

білкове борошно, яке за амінокислотним складом наближається до м'яса тварин і риби, але переважає його за вмістом усіх незамінних амінокислот (за винятком гліцину).

Додавання біомаси черв'яків до раціону сільськогосподарських тварин і птиці сприяє збільшенню виходу продукції та поліпшенню її якості.

Так, при добавлянні 1 % біомаси черв'яків до раціону курей протягом 104 днів їх несучість підвищилась приблизно на 20 % за одночасного зростання в яйцях вмісту протеїну. Використання в раціоні корів 0,5 кг свіжої біомаси черв'яків забезпечило підвищення надоїв молока на 22 %. Включення до раціону кормів тварин білкових добавок дає змогу скоротити витрати кормів на 30 %, підвищити вихід м'яса на 10 %, знизити собівартість продукції на 40 %, а в умовах гострого дефіциту білка ці показники можуть бути у 5 – 8 разів вищими.

Цікаві можливості застосування вермикультури в медицині, фармакології, косметичній промисловості. Різні типи екстрактів черв'яків використовують як медичні препарати, як захисну косметику для шкіри. На основі екстракту з вермикультури розроблено мазь, яка ефективна для лікування лишаю, екземи, варикозних виразок нижніх кінцівок, отримано препарати для лікування хвороб очей.

У китайській медицині земляних черв'яків використовують близько 2 тисячоліть, а нині із залученням сучасних методів і технологій із них виготовлені антивірусна та антипухлинна сироватки.

Великі перспективи створення замкнених циклів виробництва у сільському господарстві на основі застосування черв'яків, універсальні властивості яких дають змогу використовувати їх для розробки і впровадження безвідходних технологічних процесів. Одним з таких найбільш апробованих напрямів є анаеробна переробка органічних відходів, насамперед відходів тваринницьких комплексів і ферм.

Під час переробки різних відходів в анаеробних умовах виділяється значний об'єм газу, який можна використати для забезпечення роботи котелень, обігріву теплиць. У процесі бродіння гною в доступну для рослин форму переходить 100 % азоту, 70 % фосфору, 80 % калію, гинуть патогенні мікроорганізми та яйця гельмінтів, насіння бур'янів, а солі важких металів переходять у менш доступну форму. Внаслідок узагальнення та аналізу наявних матеріалів було сформульовано основні агроекологічні властивості біогумусу:

- біогумус переважає традиційні органічні добрива за дією на ріст, розвиток і врожайність різних сільськогосподарських культур;
- елементи живлення в біогумусі знаходяться в органічній формі, що надійно захищає їх від вимивання і сприяє пролонгованій дії;
- доступних елементів живлення в біогумусі дуже багато, оскільки більшість необхідних для рослин елементів міститься в ньому в добре засвоюваній формі;

• оптимальна реакція середовища, яка формується під дією біогумусу, створює сприятливіші умови для розвитку рослин;

• біогумус характеризується високою буферністю, що запобігає створенню надмірної концентрації солей у ґрунтовому розчині, як це переважно трапляється в разі внесення високих доз мінеральних добрив;

• велика кількість корисної мікрофлори в біогумусі істотно збільшує його поживне і фітосанітарне значення для вищих рослин;

• через відсутність у біогумусі насіння бур'янів зведена до мінімуму необхідність механічної або хімічної боротьби з бур'янами;

• вміст у біогумусі біологічно активних речовин (ауксинів, гетероауксинів тощо) ослаблює стрес рослин, особливо розсади, збільшує приживаність, прискорює проростання насіння, підвищує стійкість рослин до збудників хвороб.

Отже, вермикультивування слід розглядати як перспективний напрям формування й розвитку екологічних основ сільськогосподарського виробництва за допомогою раціонального використання природних можливостей, що ґрунтуються на значному активуванні діяльності живих організмів, керуванні цією діяльністю.

10.6. Система удобрення — основа підтримання балансу біогенних елементів

Система удобрення — це комплекс науково обґрунтованих прийомів раціонального екологічно чистого використання органічних і мінеральних добрив, хімічних меліорантів, розрахований на ротацію сівозміни, в якому передбачено норми, строки, способи та своєчасність заробляння в ґрунт добрив залежно від запланованого урожаю, біологічних особливостей, чергування культур у сівозміні з урахуванням властивостей та поєднання органічних, мінеральних добрив, їх прямої дії та післядії, ґрунтово-кліматичних і економічних умов господарства, охорони навколишнього середовища.

Основними завданнями системи удобрення є:

• вирощування високих і стабільних урожаїв з високою якістю продукції;

• забезпечення максимально можливої продуктивності сівозміни;

• систематичне підвищення і раціональне використання родючості ґрунту за доцільного застосування добрив;

• підвищення окупності одиниці внесених добрив і продуктивності праці;

• зниження собівартості виробництва сільськогосподарської продукції, забезпечення високого прибутку господарства.

Система застосування добрив передбачає:

♦ накопичення місцевих добрив (гною, компостів, пташиного посліду, попелу тощо) і правильне їх зберігання;

♦ закупівлю мінеральних добрив, хімічних меліорантів і правильне їх зберігання;

♦ своєчасне вивезення органічних і мінеральних добрив, хімічних меліорантів на поля згідно з передбаченими нормами;

♦ механізацію своєчасного і правильного внесення добрив, хімічних мелірорантів під культури сівозміни;

♦ заготівлю насіння, сівбу сільськогосподарських культур на зелене добриво;

♦ придбання нової техніки, підготовку механізаторів і спеціалістів;

♦ організацію праці та транспортних засобів.

Під час складання системи удобрення особливу увагу треба приділяти балансу біогенних елементів — складових елементів живих організмів, без яких неможливе їх існування.

Суха речовина рослин складається з вуглецю (45 %), кисню (42 %), водню (6,5 %), азоту (1,5 – 5 %) і золи (5 – 12 %), в якій містяться зольні елементи. В рослинах виявлено близько 85 елементів зі 108 відомих у природі. Вважається, що для нормального росту і розвитку рослинам необхідні 15 елементів: вуглець, кисень, водень, азот, фосфор, калій, кальцій, магній, залізо, сірка, мідь, бор, молібден, цинк, манган. Елементи літій, срібло, стронцій, кадмій, алюміній, силіцій, титан, свинець, хром, селен, фтор та нікель належать до умовно необхідних.

До макроелементів належать хімічні елементи, які в рослинах і ґрунті містяться у великих кількостях — від сотих часток до цілих відсотків у розрахунку на суху речовину. Це азот, вуглець, кисень, водень, сірка, фосфор, кальцій, калій, магній, залізо і натрій.

Мікроелементами вважають хімічні елементи, вміст яких у рослинах і ґрунті не перевищує тисячних часток відсотка в розрахунку на суху речовину. Це цинк, йод, бор, мідь, молібден, кобальт, манган та ін.

Баланс основних елементів живлення визначається співвідношенням між загальним винесенням їх урожаєм та кількістю, що повертається в ґрунт. Баланс може бути позитивним, якщо елементів живлення в ґрунт вноситься більше, ніж виноситься урожаєм, і негативним, якщо урожаєм їх виноситься більше, ніж повертається в ґрунт.

Баланс елементів живлення та гумусу слід розглядати як найдоступніший контроль за станом родючості ґрунтів. Позитивний баланс елементів живлення сприяє підвищенню врожайності та якості сільськогосподарських культур і прогресивному підвищенню родючості ґрунту. Ще у 1950-х роках академік Д.М. Прянишников, ви-

значивши основне завдання агрохімії, по суті вперше встановив екологічні нормативи для основних елементів живлення, дотримання яких забезпечує стабільне функціонування системи ґрунт — рослина. Він вважав, що коефіцієнт відшкодування винесення елементів живлення урожаєм сільськогосподарських культур за рахунок внесення добрив має становити 70 – 80 % для азоту і калію та 100 – 110 % — для фосфору.

З метою виявлення глибини порушення балансової рівноваги в сівозмінах і на земельних територіях значно більшого масштабу можна скористатися показниками інтенсивності балансу. Доведено, що екологічно безпечне значення цих показників для азоту в дерново-підзолистих і сірих опідзолених ґрунтах становить 105 – 110 %, у чорноземах — 70 – 100 %.

Екологічно безпечні нормативи інтенсивності балансу фосфору і калію залежно від їх вмісту в цих ґрунтах такі:

Вміст у ґрунті	Інтенсивність балансу, %	
	фосфору (P_2O_5)	калію (K_2O)
Дуже низький	280	150
Низький	250	130
Середній	200	110
Підвищений	150	90
Високий	100	70
Дуже високий	80	50

Наведені нормативи інтенсивності балансу азоту, фосфору і калію забезпечують високу продуктивність землеробства, розширене відтворення родючості ґрунтів, екологічну чистоту агроценозів і сільськогосподарської продукції. Розрахунки балансу елементів живлення допомагають уникнути грубих помилок при складанні системи удобрення та є основою для розробки заходів, спрямованих на підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь.

Прийоми та способи застосування добрив

Ґрунтово-кліматичні умови, рівень забезпечення рослин поживними речовинами значною мірою залежать від способів внесення добрив. Способи та строки внесення добрив визначаються біологічними і сортовими особливостями культур, попередників, ґрунтово-кліматичними умовами й організаційно-господарськими можливостями господарства. Основними способами застосування добрив є розкидний і локальний. За призначенням внесення добрив цими способами може бути основним, рядковим або підживленням.

Розкидний спосіб внесення добрив передбачає суцільний рівномірний розподіл їх по поверхні з наступним зароблянням у ґрунт

при основному, передпосівному, припосівному внесенні, а також як підживлення. В разі оранки плугом із передплужником понад 80 % гранульованих добрив потрапляє в шар ґрунту 8 – 18 см, а за оранки без передплужника вони рівномірно розподіляються по всьому орному шару ґрунту. Якщо добрива заробляють у ґрунт культиваторами або боронами, 50 – 80 % їх залишається в шарі ґрунту 0 – 2 см, а 81 – 100 % — розміщується в шарі 0 – 6 см. За безвідвального обробітку добрива в ґрунті розподіляються локально.

Внесення добрив у верхню частину орного шару ґрунту знижує оплату одиниці добрива урожаєм, що особливо чітко виявляється за умов недостатнього зволоження. Мінімальний обробіток (без перевертання скиби) не забезпечує достатнього перемішування добрив із ґрунтом, внаслідок чого посилюються процеси іммобілізації азоту, фосфору, сірки, зменшується кількість доступних для рослин сполук азоту, фосфору в орному шарі. Внесення азотних добрив у ґрунт на глибину менш як 5 см призводить до значних втрат газоподібного азоту. Особливо великі втрати елементів живлення внаслідок змиву та виділення газоподібних сполук азоту. Розкидне внесення добрив проводять за допомогою розкидачів і тукових сівалок. Головною вимогою цього способу є рівномірність розподілу добрив по поверхні поля, оскільки нерівномірний їх розподіл зумовлює строкатість урожайності, різні строки дозрівання та вилягання культур, погіршення якості продукції. Недобір урожаю зерна озимої пшениці внаслідок вилягання рослин, спричиненого нерівномірним внесенням добрив і впливом інших чинників, може досягти 25 – 60 %.

Локальний спосіб внесення добрив порівняно з розкидним дає змогу зменшити поверхню взаємодії добрива з ґрунтом, що сприяє кращому засвоєнню елементів живлення рослинами, підвищує врожайність зернових культур на 2 – 5 ц/га, зерна кукурудзи — на 5 – 8, картоплі, коренеплодів, овочевих культур — на 20 – 40 ц/га і більше. Підвищення врожайності за локального внесення пояснюють меншим вбиранням елементів живлення ґрунтом, кращим їх засвоєнням рослинами та меншими втратами газоподібних сполук азоту. Так, коефіцієнт використання фосфору з суперфосфату за цього способу внесення зростає в 2 – 3 рази. Локалізація калійних й особливо азотних добрив має менше значення, ніж фосфорних.

Локальне внесення добрив у зону розміщення максимальної кількості коренів, тобто під рослину (насіння, бульби) або в міжряддя на глибину 3 – 15 см, є одним із найраціональніших прийомів. При цьому добрива розміщуються в ґрунті суцільною або переривчастою стрічкою, окремими гніздами. Локальне внесення добрив може бути основним, передпосівним, припосівним і підживленням. Добрива вносять до сівби, під час сівби або в період вегетації в рядки, ямки, за безполицевого обробітку ґрунту. Локально добрива вносять за

допомогою сівалок, культиваторів-рослинопідживлювачів, комбінованих агрегатів, інших механізмів.

Оптимальні норми добрив за локального внесення на 10 – 30 % нижчі, ніж за розкидного.

Строки внесення добрив

Розрізняють передпосівне (основне), припосівне (рядкове, гніздове) внесення добрив і підживлення (внесення добрив протягом вегетації рослин).

В ***основне внесення*** дають повну норму органічних добрив і 70 – 80 % річної норми мінеральних. Органічні добрива в усіх зонах під усі культури вносять в передпосівне удобрення і заробляють під час основного обробітку ґрунту. Як основне добриво мінеральні добрива вносять восени, азотні — з урахуванням умов зволоження, гранулометричного складу ґрунту та рівня забезпеченості рослин мінеральними сполуками азоту — восени або навесні. Як правило, навесні вносять добрива в ґрунти легкого гранулометричного складу та перезволожені або періодично заливні.

Розподіл норми основного фосфорно-калійного добрива на основне внесення і для підживлення неефективне, особливо в умовах недостатнього зволоження.

Весняне внесення гною та компостів призводить до подовження строків виконання ранньовесняних робіт, внаслідок чого знижуються прирости врожайності та оплати одиниці добрива, значно зростають втрати поживних речовин.

В умовах виробництва часто доводиться довносити добрива навесні під передпосівний обробіток ґрунту. Такий спосіб їх внесення не повною мірою сприяє підвищенню врожайності, зменшує оплату одиниці добрива врожаєм.

За основного внесення насамперед використовують добрива з низьким вмістом елементів живлення, а для ґрунтів з підвищеною кислотністю — важкодоступні негранульовані форми добрив.

Припосівне внесення добрив передбачає заробляння їх під час сівби неподалік від рядків або гнізд на 2 – 3 см глибше і збоку від насіння. Відхилення за рядкового внесення від встановленої глибини не повинно перевищувати ±1,5 см.

Основне завдання припосівного удобрення — поліпшення живлення рослин на початку вегетації, коли у них ще слабко розвинена коренева система. В цей період рослини дуже чутливі до нестачі легкодоступних елементів живлення, особливо фосфору. Тому в рядки частіше вносять гранульований суперфосфат або гранульовані комплексні добрива, наприклад нітрофоску чи інші висококонцентровані водорозчинні добрива.

За даними Географічної мережі дослідів з добривами, внесення 20 кг/га фосфору в рядки забезпечує приріст урожаю зерна озимої пшениці 5 – 6 ц/га, тоді як за розкидного внесення добрив — 1 – 2 ц/га. Доведено високу економічну ефективність внесення в рядки складних і комплексних добрив.

В умовах недостатнього забезпечення рослин мікроелементами доцільно застосовувати передпосівне збагачення насіння мікродобривами. Ефективність такого способу використання добрив вища, ніж за основного їх внесення.

Підживлення — це внесення добрив під час вегетації рослин з метою посилення їх живлення в певні періоди розвитку і формування окремих органів рослин, сприяння відпливу поживних речовин, підвищення якості продукції. Підживлення за часом їх проведення поділяють на *ранні* (ранньовесняні) і *пізні*, за призначенням — на кореневі й позакореневі.

За *кореневого підживлення* добрива вносять культиваторами-рослинопідживлювачами у зону розміщення основної маси коренів, у міжряддя просапних культур або розподіляють по поверхні ґрунту (для підживлення культур суцільного способу сівби). На посівах озимих культур під час їх кущіння кореневе підживлення проводять розкидачами добрив, дисковими сівалками, культиваторами-рослинопідживлювачами на глибину 4 – 5 см.

Позакореневе підживлення — це нанесення добрив на листки та інші надземні органи рослини. Проводять у період інтенсивної вегетації рослин переважно з метою підвищення якості продукції. Для підвищення вмісту білка в зерні озимої пшениці та кукурудзи посіви цих культур обприскують розчинами сечовини. Обприскування озимої пшениці сечовиною часто поєднують із застосуванням засобів захисту рослин. Підживлення дуже ефективне в районах достатнього зволоження та на ґрунтах легкого гранулометричного складу.

Внесення добрив у запас (періодичне) передбачає застосування такої їх кількості, яку треба внести протягом кількох років під 2 – 4 культури, причому фосфорно-калійні добрива вносять тільки один раз, азотні — щорічно. Ефективності запасного і щорічного внесення мінеральних добрив практично однакові, однак у разі внесення в запас знижуються витрати на зберігання добрив, підвищується продуктивність праці, вдосконалюється технологія виконання сільськогосподарських робіт.

Застосування добрив з поливною водою передбачає їх внесення як на поверхню, так і в глиб ґрунту. Нині дедалі ширше використовують крапельне зрошення.

Застосування добрив одночасно з поливом дощувальними машинами дає змогу керувати ростом і розвитком рослин, формувати врожай певної якості. Це особливо важливо для рослин, які виро-

щують на ґрунтах легкого гранулометричного складу і які характеризуються тривалим періодом засвоєння елементів живлення. Вносити добрива можна з поливною водою як до сівби, так і під час вегетації рослин при вологозарядних, зволожувальних і освіжаючих поливах.

При дощуванні допустимими вважають такі концентрації розчинів мінеральних добрив, %: азотних — 0,5, фосфорних — 2, калійних — 3, складних розчинів — 0,5. Із добрив використовують сечовину, аміачну селітру, хлорид калію, амофос, карбамідно-аміачну суміш (КАС), рідкі комплексні добрива (РКД), солі мікроелементів.

Строки підживлення встановлюють залежно від біологічних особливостей і стану культури, періодів найбільшого засвоєння рослинами елементів живлення.

Визначальним чинником в умовах зрошення є не тільки хімічний склад рослин, а й кількість води, необхідна для підтримання водно-повітряного і сольового режимів ґрунту. Для дощування витрачають 200 – 700 $м^3$/га води.

Дробне внесення добрив з поливною водою дає змогу підвищити коефіцієнт використання елементів живлення на 20 – 30 % порівняно з внесенням сухих добрив у ґрунт під основний його обробіток. При цьому врожай зернових культур збільшується на 3 – 4 ц/га, сіна багаторічних трав — на 9 – 10, зеленої маси кормових культур — на 23 – 24 ц/га, а продуктивність праці зростає в 1,5 – 2 рази.

10.7. Оптимізація живлення рослин

Життєдіяльність рослин, їх ріст і розвиток відбуваються в результаті постійного обміну речовин і енергії між рослиною та навколишнім середовищем. Інтенсивність і спрямованість процесів обміну визначають продуктивність сільськогосподарських культур та якість продукції.

Життєдіяльність рослин здійснюється за наявності в навколишньому середовищі всіх необхідних для цього чинників, до яких належать світло, тепло, волога, вуглекислий газ і кисень повітря, елементи мінерального живлення ґрунту.

Продуктивність культурних агрофітоценозів формується шляхом оптимізації життєвих чинників навколишнього середовища технологічними прийомами. Особливості використання рослинами цих чинників, кількість і якість урожаю залежать від спадкових біологічних особливостей культурних рослин, їх сортів і гібридів.

Крім азоту, фосфору і калію, на думку багатьох дослідників, у живленні рослин беруть участь 85 елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва, найважливішими з яких є 20 – 25. Більшість еле-

ментів живлення рослини вбирають із ґрунту. Найважливішою і невід'ємною властивістю ґрунту є його родючість — здатність забезпечувати рослини постійно й одночасно елементами живлення, водою, теплом, повітрям та іншими чинниками.

Рівень родючості ґрунту залежно від конкретних екологічних умов та інтенсивності землеробства може бути різним. Наявність елементів живлення в ґрунті та рослинах визначає інтенсивність вибіркового засвоєння ними поживних речовин, що зумовлює формування врожаю певної якості.

Потреби рослин в елементах живлення різні. Одна й та сама рослина в різні періоди росту і розвитку неоднаково вимоглива до умов живлення. Наприклад, у перший період вегетації, а він є критичним, рослина засвоює відносно малі кількості поживних речовин, проте їх нестача в цей період дуже негативно позначається на рості й розвитку рослин у наступні періоди вегетації. Навіть посилене живлення в наступні періоди не усуває негативного впливу нестачі елементів живлення на початку вегетації. Особливо чутливі рослини на початку росту і розвитку до нестачі фосфору, на їх нормальний ріст і розвиток негативно впливають як нестача, так і надлишок будь-якого елемента живлення.

Рослини розвиваються і живуть завдяки повітряному і кореневому живленню. Листками вони засвоюють понад 95 % вуглекислого газу. З водних розчинів листки рослини засвоюють зольні елементи, азот і сірку. Проте основна кількість азоту, зольних елементів і води надходить в рослину крізь кореневу систему, яку слід розглядати як орган вбирання й синтезу поживних речовин.

Різні культурні рослини характеризуються неоднаковою здатністю кореневої системи щодо вбирання з ґрунту та добрив поживних речовин. Дуже низьку здатність до засвоєння фосфору з важкорозчинних сполук має ячмінь; низьку — пшениця й овес; відносно високу — жито, кукурудза; високу — картопля, цукрові буряки, конюшина червона, гірчиця; дуже високу — люцерна, горох, люпин, гречка.

Інтенсивність засвоєння поживних речовин рослинами залежить від реакції ґрунту. Більшість культурних рослин краще розвивається на слабкокислих і нейтральних ґрунтах. За відношенням до кислотності ґрунту рослини поділяють на такі групи:

- дуже чутливі — люцерна, еспарцет, конюшина, гірчиця, ріпак, капуста, цибуля, часник, перець, столові, цукрові та кормові буряки, смородина; ці рослини дуже позитивно реагують на вапнування кислих ґрунтів підвищеними нормами вапна;
- середньочутливі — озима і яра пшениця, ячмінь, кукурудза, квасоля, горох, вика, соняшник, соя, кормові боби, салат, огірки, яблуня, слива, вишня; добре реагують на вапнування кислих ґрунтів помірними нормами вапна;

• малочутливі — овес, жито, просо, гречка, льон, кабачки, гарбузи, помідори, морква, редька, малина, аґрус, груша; витримують помірну кислотність і позитивно реагують на вапнування невеликими нормами вапна, негативно реагують на підвищений вміст кальцію;

• стійкі — люпин, картопля, бруква, щавель, серадела; добре витримують підвищену кислотність, слабко реагують на вапнування.

Чутливість рослин до реакції ґрунтового середовища з їх віком зменшується. За допомогою хімічної меліорації ґрунтів створюють оптимальні умови для розкриття рослинами своїх потенційних можливостей.

Оптимальні для нормального росту і розвитку рослин умови живлення створюються за рахунок водного і повітряного режимів, певного запасу доступних поживних речовин, концентрації ґрунтового розчину, інших чинників, більшість яких визначається агрохімічними властивостями ґрунту. Вплив ґрунту на врожайність культур пов'язаний із запасами в ньому елементів живлення, вологи, реакцією ґрунтового розчину, вмістом органічної речовини, його фізичними і біологічними властивостями. Радикальний спосіб впливу на поживний режим ґрунту та умови живлення рослин — застосування органічних і мінеральних добрив. Добрим фоном для підвищення ефективності органічних і мінеральних добрив є вапнування і гіпсування ґрунтів. Сумісне застосування вапнякових, органічних і мінеральних добрив сприяє підвищенню врожайності культур, родючості ґрунтів, збільшує оплату одиниці добрив.

Поєднанням способів і строків внесення добрив з агротехнічними заходами з урахуванням трансформації поживних речовин у ґрунті, динаміки їх вбирання підвищують ефективність добрив і знижують затрати праці.

На оптимізацію живлення рослин позитивно впливає комплексне застосування засобів хімізації, яке передбачає:

• доведення pH ґрунтового розчину до оптимального рівня за допомогою хімічної меліорації;

• забезпечення рослин достатньою кількістю поживних речовин ґрунту;

• посилення живлення рослин у критичні періоди їх росту з урахуванням агрохімічних властивостей ґрунтів, біологічних особливостей культур, величини врожаю та його якості;

• знищення бур'янів;

• зведення до мінімуму негативного впливу хвороб і шкідників за допомогою засобів захисту рослин;

• позитивне вирішення екологічних проблем і збереження навколишнього природного середовища.

Використання рослин для мобілізації біогенних елементів. У період вегетації рослини засвоюють різні кількості елементів

живлення, що часто призводить до зміни співвідношення і вмісту їх у листках та інших органах і потребує коригування умов живлення. Надходження хімічних елементів у рослини з ґрунту, гірських порід і атмосфери, синтез органічних речовин і повернення хімічних елементів у ґрунт і атмосферу є основними складовими біологічного колообігу речовин. Велике значення в цьому колообігу мають зелені рослини.

Склад рослин дуже різноманітний і залежить не тільки від їх фази росту і розвитку, а й від умов вирощування. За формування високих урожаїв у культурах посилюється колообіг речовин, що приводить до накопичення їх у рослинних рештках, збагачення якими ґрунту слід враховувати при застосуванні добрив. Винесення елементів живлення з ґрунту значною мірою залежить від їх вмісту в основній і побічній продукції врожаю (табл. 10.3).

Таблиця 10.3. **Винесення з ґрунту елементів живлення урожаєм основних сільськогосподарських культур,** кг/т продукції

Культура	Продукція								
	Основна			Побічна			Основна з урахуванням побічної		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Озима пшениця	20,7	7,4	4,9	5,1	1,6	9,9	28,9	10,0	20,7
Озиме жито	17,4	7,5	5,4	5,6	2,2	11,0	27,8	11,7	26,4
Ячмінь									
озимий	17,0	8,3	4,9	6,0	2,0	13,6	24,7	10,9	22,6
ярий	18,4	7,6	5,3	6,6	2,3	13,9	26,2	10,4	22,0
Овес	18,9	8,3	5,1	5,2	2,8	17,9	27,2	12,7	33,7
Кукурудза									
на зерно	15,3	5,9	4,2	6,9	2,1	14,2	24,1	8,6	22,4
на силос	3,15	1,14	4,23	—	—	—	—	—	—
Просо	19,4	4,9	4,1	9,1	2,0	25,9	33,9	8,1	45,5
Гречка	17,7	5,9	7,1	9,7	4,1	16,4	36,1	13,7	38,3
Горох	33,4	8,4	13,0	10,0	2,3	13,6	44,4	12,5	28,0
Соняшник	23,7	10,4	8,4	8,7	3,1	43,6	42,8	17,2	104,3
Льон	5,4	2,01	10,1	38,9	15,0	11,6	61,6	19,9	63,3
Буряки									
цукрові	2,01	0,76	2,22	3,48	0,86	4,42	4,23	1,29	5,0
столові	3,64	0,76	2,31	—	—	—	—	—	—
кормові	2,12	0,55	3,18	4,63	0,94	4,08	3,69	0,86	4,56
Картопля	3,7	1,1	5,5	3,7	0,9	4,6	5,6	1,6	7,8
Трави (сіно)									
однорічні	20,0	6,0	20,7	—	—	—	—	—	—
багаторічні	23,3	5,3	20,1	—	—	—	—	—	—

Найважливішим чинником регулювання колообігу елементів живлення в сівозміні та землеробстві є застосування добрив на науковій основі з урахуванням конкретних умов, за яких вони матимуть найвищу ефективність. Колообіг елементів живлення в агроекосистемах має певну спрямованість і за допомогою показників балансу може бути оцінений не тільки якісно, а й кількісно. Баланс елементів живлення в агроекосистемах дає змогу визначати їх винесення з ґрунту врожаєм та надходження в ґрунт із різних джерел і тим самим систематично контролювати й цілеспрямовано впливати на підвищення врожайності культур і родючості ґрунтів внесенням добрив, застосуванням хімічних меліорантів та інших засобів.

Біологічні процеси, що відбуваються в ґрунті, значною мірою залежать від діяльності вищих рослин, зокрема їхніх кореневих систем. Утворена рослинами органічна речовина включається в біологічний колообіг і внаслідок цього ґрунт збагачується. В агрофітоценозах, де частина надземної маси рослин відчужується з поля, органічна речовина утворюється в ґрунті в основному за рахунок кореневих систем рослин, що беруть участь у біогенній акумуляції, перенесенні й перерозподілі елементів живлення у ґрунтовому профілі. Чим більше надходить у ґрунт свіжої органічної речовини, тим краще розвиваються мікробіологічні процеси. Чим більша кількість післязбиральних решток і коріння поповнює органічну частину ґрунту, тим вищою буде його біологічна активність.

Маса і якість післязбиральних і кореневих решток впливають на процеси їх перетворення в ґрунті, формування його родючості. Найціннішими є рештки бобових багаторічних трав і зернобобових культур. Через ширше співвідношення мас надземної і підземної частин — конюшина, люцерна еспарцет та інші багаторічні бобові трави залишають у ґрунті 100 – 200 ц/га органічної речовини. Крім того, в цих рештках менше співвідношення C : N, тобто вони містять більше азоту в білковій формі, що сприяє перебігу мікробіологічних процесів. Зернобобові культури — горох, соя, квасоля, люпин — формують меншу кількість післязбиральних решток (50 – 150 ц/га). Їх об'єднує також те, що на коренях усіх бобових культур розвиваються бульбочкові бактерії, які фіксують азот повітря і збагачують цим елементом ґрунт. Роль різних бобових культур у накопиченні азоту неоднакова. Так, однорічні культури — горох, соя, квасоля забезпечують азотом насамперед себе і залишають у ґрунті порівняно невелику його кількість (до 50 кг/га). Багаторічні бобові — конюшина, люцерна, люпин та інші накопичують і залишають у ґрунті значно більші кількості цього елемента (100 – 250 кг/га).

Роль бобових рослин у підвищенні родючості ґрунту не обмежується збагаченням його азотом і органічними рештками. Органічна маса бобових рослин багатша на кальцій і фосфор, які вони засвою-

ють з глибоких шарів ґрунту і тим самим збагачують верхні його шари.

Післяжнивні рештки бобових культур сприяють утворенню більшої кількості гумінових кислот, які, сполучаючись із кальцієм, магнієм та іншими катіонами ґрунту, закріплюють у гумусі поживні речовини, сприяють формуванню доброї структури та поліпшують фізичні властивості ґрунту.

Коренева система рослин має важливе значення для мобілізації елементів живлення та як джерело цих елементів для наступних культур. За даними О.І. Зінченка, після різних польових культур у ґрунті залишається від 35 – 45 до 70 – 100 ц/га і більше кореневих і післяжнивних решток. Так, на посівах багаторічних трав у ґрунті щорічно залишається 60 – 80 ц/га сухої маси коренів. За 3 – 4 роки вирощування люцерна залишає 25 – 30 т/га органічної маси, в якій міститься 450 – 500 кг/га азоту, 100 – 120 фосфору, 350 – 400 кг/га калію. Кореневі рештки бобових трав (люцерни, конюшини, озимої і ярої вики, буркуну) містять у 2 – 3 рази більше азоту, значно більше фосфору і кальцію, ніж кореневі рештки злакових культур.

З урахуванням здатності бобових рослин, особливо їх кореневої системи, мобілізувати елементи живлення у верхньому шарі ґрунту, ці рослини використовують як зелене добриво, або сидерат, з метою підвищення родючості ґрунтів. Для цього придатні бобові (люпин, буркун, серадела) і небобові рослини (озимий і ярий ріпак, олійна редька, жито, гречка, гірчиця біла, озима свиріпа).

Як зелене добриво рослини використовують такими способами:

- повним — приорюють усю вирощену зелену масу рослин;
- укісним — врожай зеленої маси використовують на корм тваринам, а на зелене добриво — тільки післяукісні рештки;
- отавним або комбінованим — перший укіс слугує кормом, отаву приорюють як зелене добриво.

Зелене добриво, або сидерати, — надійний засіб підвищення родючості ґрунтів, особливо дерново-підзолистих легкого гранулометричного складу.

Сидеральні культури вирощують окремо в ущільнених або проміжних посівах. Повне, укісне і комбіноване застосування проміжних культур як зеленого добрива — один з основних заходів підвищення продуктивності сівозмін.

Здатність рослин мобілізовувати біогенні елементи використовують при виробництві продукції рослинництва на забруднених радіонуклідами територіях. Одним з ефективних заходів зменшення вмісту цезію, стронцію та інших важких металів у продукції є добір культур, одні з яких вбирають незначну кількість радіонуклідів, а інші — засвоюють їх із ґрунту у великих кількостях. Відносно мало важких металів засвоюють зернові культури і багато — бобові (ко-

нюшина, люцерна, горох, квасоля та ін.). Тому на забруднених радіонуклідами територіях доцільно вирощувати зернові культури і картоплю, в бульбах якої менше важких металів, оскільки вони акумулюються в картоплинні.

Найнижчими рівнями забруднення зерна радіоцезієм характеризуються кукурудза, тритикале, просо, дещо вищі рівні встановленні для ячменю, пшениці, жита, а рівень забруднення зерна вівса в 6 разів вищий, ніж зерна кукурудзи. Найбільший вміст радіоцезію в зерні гречки: в 11,6 раза вищий, ніж у зерні кукурудзи і в 5 разів — ніж у зерні проса.

Зернобобові культури забруднюються радіонуклідами більше, ніж зернові. Отже, зернові, зернобобові та круп'яні культури, вирощені в однакових умовах, значно різняться за вмістом радіоцезію в урожаї. Це дає змогу шляхом добору культур отримувати менш забруднену продукцію рослинництва для продовольчого використання за різних рівнів радіоактивного забруднення ґрунту.

10.8. Хімічні меліорації: види, значення, основи технології

Хімічна меліорація — це застосування хімічних речовин для поліпшення фізико-хімічних і фізичних властивостей ґрунтів, їх хімічного складу та підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Основними способами хімічної меліорації є: вапнування кислих ґрунтів, гіпсування солонцюватих ґрунтів, кислування лужних ґрунтів, а також внесення мінеральних і органічних добрив.

Вапнування ґрунтів передбачає внесення вапнякових добрив у кислі ґрунти з метою нейтралізації їхньої надмірної кислотності, шкідливої для багатьох сільськогосподарських культур.

Реакція ґрунтового розчину залежить від складу й концентрації розчинених у ньому вільних мінеральних, органічних кислот та їхніх солей.

Ріст і розвиток рослин великою мірою визначається реакцією ґрунтового середовища, швидкістю і спрямованістю хімічних та біохімічних процесів, що відбуваються в ґрунті. Більшість культурних рослин формує високі врожаї лише за нейтральної або близької до нейтральної реакції ґрунтового середовища.

Реакція ґрунтового розчину залежить від співвідношення в ньому іонів водню H^+ та гідроксильних груп OH^-. Якщо концентрація іонів H^+ більша за концентрацію OH^-, ґрунти мають кислу реакцію.

У природних умовах кислотність ґрунту формується за перебігу підзолистого процесу ґрунтотворення, внаслідок чого ґрунтовий вбирний комплекс насичується іонами водню й алюмінію, а ґрунтові

колоїди теж мають виражені кислотні властивості. Підкислення ґрунту можливе також за тривалого застосування фізіологічно кислих мінеральних добрив та в результаті засвоєння елементів живлення рослинами у вигляді іонів, що супроводжується виділенням еквівалентної кількості іонів водню.

Концентрацію іонів водню в ґрунтовому розчині, а звідси і кислотність ґрунту, умовно виражають показником pH — від'ємним логарифмом концентрації водневих іонів. За pH < 6 реакція ґрунту кисла, за pH 7 — нейтральна, а за pH 8 і більше — лужна.

Непрямим результатом високої кислотності ґрунту є недостатній вміст у ньому засвоюваних кальцію і фосфору, надлишок розчинних сполук алюмінію, мангану — досить шкідливих для рослин. Алюміній, накопичуючись у кореневій системі рослин, знижує її здатність проводити фосфор у надземні частини, тому рослини потерпають від фосфорного голодування навіть за внесення фосфорних добрив.

Більшість культурних рослин для нормального розвитку потребує слабкокислої (pH 6,0 – 6,5) або нейтральної (pH близько 7) реакції ґрунтового розчину. Шкідливу дію підвищеної кислотності ґрунту можна усунути тільки внесенням необхідної дози карбонату кальцію (вапна), який не лише підвищує pH ґрунтового розчину, а й зв'язує алюміній та манган у малорозчинні сполуки.

Умовою успішного проведення вапнування є щонайповніше знання реального стану реакції ґрунту кожного поля не тільки за значенням pH, а й за природою ґрунтової кислотності.

Розрізняють три види ґрунтової кислотності: актуальну, обмінну і гідролітичну. З кислотністю пов'язані численні негативні властивості ґрунтів, їх низька родючість. Кислі ґрунти бідні на кальцій, фосфор, інші елементи живлення, а також гумус. Все це створює несприятливі умови для розвитку рослин. Крім того, за підвищеної кислотності ґрунту гальмується надходження азоту, фосфору, калію та інших поживних речовин у кореневу систему, порушується вуглеводний і білковий обмін речовин у рослинах, знижуються вміст хлорофілу та активність ферментів, уповільнюється процес фотосинтезу, внаслідок чого порушується процес запилення і розвитку генеративних органів, погіршуються умови наливання зерна, знижується продуктивність рослин.

Озимі злаки і багаторічні трави гинуть через підвищену кислотність ґрунту не лише взимку, а й навесні. Зріджуються також посіви ярих культур. Підкислення ґрунтів спричинює перехід важких металів, радіонуклідів у легкорухливі форми, підвищується коефіцієнт їх переходу в рослини, збільшується вміст нітратів і нітритів, а отже, погіршується якість продукції та істотно знижується продуктивність агроценозів. Кисла реакція ґрунтового розчину супроводжу-

ється надлишковим вмістом токсичних для рослин рухомих форм алюмінію, мангану, заліза, зниженням доступності фосфору, молібдену, погіршенням життєдіяльності та складу мікрофлори ґрунтів, гальмуванням надходження в рослини кальцію і магнію. Крім того, на кислих ґрунтах дуже низька окупність мінеральних добрив і невисока якість продукції рослинництва.

Згідно з рівняннями регресії урожаю за значенням pH (в інтервалі 4,2 – 5,6 сольової витяжки), зниження цього показника на 0,1 одиниці призводить до зменшення урожаю зернових культур на 0,7 – 1,0 ц/га.

Більшість культур нормально розвивається за pH 6,5, коли створюються сприятливі умови для живлення рослин: наявність поживних речовин у доступних для рослин формах, достатня нітрифікаційна активність, задовільні умови для існування корисних ґрунтових мікроорганізмів, відсутність токсичних рухомих елементів — алюмінію та мангану, які в кислих ґрунтах утворюють важкорозчинні сполуки.

Серед показників фізико-хімічних властивостей ґрунту найбільше значення мають обмінно-вбирні катіони Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} і H^{+}, з якими пов'язані поняття актуальної і гідролітичної кислотності, суми ввібраних основ, ступеня насичення ґрунтів основами. За цими та іншими показниками вибирають шляхи хімічної меліорації кислих чи засолених ґрунтів. Відомо, що прямий вплив кислотності або лужності ґрунту на розвиток рослин менший, ніж побічний, що призводить насамперед до різкого зниження ефективності мінеральних добрив, порушення збалансованості живлення елементами самого ґрунту та різкого погіршення його фізичних властивостей.

За сучасного рівня застосування мінеральних добрив, особливо в інтенсивному землеробстві, проблема хімічної меліорації полів — вапнування кислих і гіпсування засолених ґрунтів — особливо актуальна. Нині в господарствах України різко скоротилося застосування хімічних меліорантів. У багатьох регіонах підкислення ґрунтів стало критичним. Темпи щорічного збільшення площ з підвищеною кислотністю досягають 0,4 – 0,5 %. Нині в Україні близько 9 млн га ґрунтів з підвищеною кислотністю (pH < 6), в тім числі до 8,5 млн га орних земель.

Основні площі кислих ґрунтів знаходяться на Поліссі та в Лісостепу. Найбільшу кислотність мають верхові торфовища й дерново-підзолисті ґрунти Полісся, дещо меншу — сірі і темно-сірі лісові ґрунти. Низька кислотність ґрунтового розчину характерна для опідзолених і вилужених чорноземів. У комплексі агрохімічних заходів, спрямованих на підвищення родючості кислих ґрунтів, основна роль відведена вапнуванню, що забезпечує глибоку, тривалу і різнобічну дію вапна на ґрунт і рослину.

Після внесення вапна знижується кислотність ґрунту, підвищується насиченість його основами, що створює оптимальні умови для росту і розвитку рослин, формування високого врожаю. Крім того, вапнування позитивно впливає на агрохімічні, фізико-хімічні та біологічні властивості кислих ґрунтів, на них рослини формують краще розвинену кореневу систему, здатну засвоювати з ґрунту більше поживних речовин. Внаслідок вапнування активується процес розкладання клітковини рослинних решток у ґрунті, збільшується кількість нітрифікаторів та бактерій, які розкладають трифосфат кальцію й органофосфати, зменшується кількість бактерій, які утворюють отруйні для рослин і корисних мікроорганізмів речовини, інтенсифікуються біохімічні процеси — в 1,5 – 2 рази підвищується виділення вуглекислого газу та активність ферментів у ґрунті.

Однак слід пам'ятати, що вапно, внесене в надмірній кількості, може пригнічувати ріст рослин і знижувати їх урожайність. Це пояснюють тим, що кисла реакція ґрунту на декілька років може змінитись на лужну, яка для багатьох культур не менш шкідлива, ніж кисла.

Надмірно високі дози вапна порушують живлення рослин мікроелементами: бором, манганом, цинком та ін. Найчастіше рослини потерпають від нестачі бору, що зовні виявляється такими ознаками: у цукрових і кормових буряків загниває центральна частина коренеплоду, у льону відмирає верхівка стебла, картопля уражується паршею, зернобобові не утворюють насіння і т.д.

Все це засвідчує, що не слід вапнувати ґрунти без попередніх аналізів і розрахунку норм вапна залежно від ступеня кислотності, врахування особливостей культур сівозміни і гранулометричного складу ґрунту. При вапнуванні ґрунтів у сівозмінах з льоном і картоплею рекомендується застосовувати борвмісні добрива, що дасть змогу внесенням невеликої кількості бору (1 – 3 кг/га) майже ліквідувати несприятливу для льону й картоплі післядію вапнування, корисну для інших культур сівозміни.

Залежно від організаційно-господарських умов, зокрема від наявності вапнякових матеріалів, вапно можна застосовувати в малих дозах під декілька культур сівозміни з тією однак умовою, щоб за ротацію сівозміни дати необхідну норму, або вносити відразу потрібну кількість вапна і щорічно вапнувати меншу площу. Обидва способи дають близькі результати. Починати вапнування треба на полях із дуже кислими ґрунтами (pH 4,0 – 4,5).

Вапнування є важливою умовою інтенсифікації землеробства на кислих ґрунтах, підвищує їх родючість та ефективність мінеральних добрив, особливо азотних: ефективність застосування добрив на кислих ґрунтах на 30 – 40 % нижча, ніж на тих самих ґрунтах після вапнування.

Зі збільшенням норм внесення мінеральних добрив значення вапнування ґрунтів зростає. Зниження кислотності ґрунтів після вапнування дає змогу рослинам використовувати елементи живлення з добрив, тому вапнування кислих ґрунтів має передувати внесенню добрив.

Строки, способи та місце внесення вапна в сівозміні взаємозв'язані і залежать від норми вапнякового матеріалу, його форми та якості, реакції культур на вапнування. Необхідну норму вапнякового матеріалу слід вносити у ґрунт із таким розрахунком, щоб його дія була максимальною на культурах, які добре реагують на вапнування, і незалежно від поля сівозміни добиватись максимального перемішування його з усією масою орного шару ґрунту.

У сівозмінах Полісся рекомендовані норми вапнякових матеріалів доцільно вносити під покривну культуру багаторічних трав, картоплю, льон і люпин. Під картоплю вапно можна вносити восени або навесні. Під льон і люпин, якщо застосовують повну норму вапна, його вносять восени, а половину норми можна вносити навесні.

У разі вапнування поля під картоплю, льон і люпин велике значення має форма вапнякового матеріалу. Найкраще вносити повільнодіючі матеріали (мелене вапно, доломітове борошно) і збільшувати при цьому в 1,5 – 2 рази норми калійних та боровмісних добрив.

Ґрунти потребують вапнування у 12 областях України. Його слід проводити з регулярною періодичністю через 5 – 7 років повною нормою, розрахованою за гідролітичною кислотністю. Для цього щорічно треба вносити 6,0 – 6,5 т/га меліорантів.

Повна норма вапна, що відповідає значенню гідролітичної кислотності, в сівозміні діє протягом 7 – 8 і більше років. Ця норма забезпечує слабкокислу реакцію ґрунту, оптимальну для більшості культур. Згодом ґрунт починає підкислюватись і його реакція поступово наближається до початкового рівня, що потребує повторного, або підтримувального, вапнування. Підкисленню сприяє розкладання в ґрунті органічних решток з утворенням органічних кислот. Кореневі виділення рослин і більшість продуктів біохімічних процесів, які відбуваються в ґрунті, також підкислюють ґрунтове середовище. Упродовж кількох десятиліть у багатьох країнах, у тім числі і в нашій, випадають «кислотні» дощі, які хоч і не дуже сильно, та все ж підвищують кислотність ґрунту. З ростом інтенсифікації землеробства різко посилились процеси збіднення ґрунту на основи внаслідок винесення кальцію і магнію врожаями та, переважно, внаслідок їх міграції з кореневмісного шару з інфільтраційними водами. Застосування фізіологічно кислих мінеральних добрив і підвищена агресивність атмосферних опадів також призвели до збільшення втрат кальцію і магнію з орного шару ґрунту. Зросло ви-

мивання легкорухливих аніонів SO_4^{2-}, NO_3^-, Cl^-, які не сорбуються ґрунтом і зв'язують еквівалентну кількість катіонів, здебільшого Ca^{2+} і Mg^{2+}.

Тому підвищення кислотності ґрунту й потреба проведення повторного або підтримувального вапнування зумовлюються переважно втратами кальцію внаслідок винесення його урожаєм і вимивання у глибші шари ґрунту.

Реакція рослин на наявність у ґрунті кальцію протилежна їх реакції на pH середовища. Рослини, які страждають від підвищеної кислотності, краще ростуть і розвиваються на ґрунтах, збагачених на кальцій, і навпаки.

Втрати кальцію з ґрунту можуть значно коливатись і залежать від багатьох чинників: кількості опадів, ступеня просочування вологи, гранулометричного складу ґрунту та його кислотності, норм вапна, складу та норм добрив, що вносяться, набору культур у сівозміні та їх урожайності тощо. Середньорічні втрати кальцію з орного шару ґрунту внаслідок його вимивання коливаються від 50 до 250 кг/га у перерахунку на CaO. Більші втрати спостерігаються на дерново-підзолистих ґрунтах і менші — на опідзолених і вилужених чорноземах.

Дослідження підтверджують, що втрати кальцію з ґрунту перевищують його надходження. Дефіцит балансу кальцію в ґрунті здебільшого усувають вапнуванням, оскільки з органічними та мінеральними добривами, які містять кальцій, надходить недостатня кількість основ для нейтралізації природного підкислення ґрунту. Органічні добрива можуть виконувати цю функцію лише за щорічного їх внесення 25 – 30 т/га. Незначна кількість кальцію надходить у ґрунт з атмосферними опадами — 15 – 25 кг/га за рік. Отже, під час вапнування треба створювати позитивний баланс кальцію в ґрунті, оскільки лише в цьому разі площа кислих ґрунтів зменшується, а за негативного — збільшується, незважаючи на щорічне проведення вапнування.

Негативний баланс кальцію призводить до таких негативних наслідків:

- постійно зростають площі з підвищеною кислотністю ґрунту;
- знижується ефективність мінеральних добрив і не використані рослинами нітрати потрапляють у ґрунтові води;
- зменшується захисна здатність протистояння рослин до надходження в них важких металів і решток пестицидів;
- зростає рухливість гумусових сполук ґрунту.

Для підтримання оптимальної реакції ґрунтового розчину та позитивного балансу обмінних основ кальцію і магнію в ґрунті як доповнення до системи удобрення щорічно треба вносити невеликі

дози вапна під кожну культуру, яка потребує нейтральної реакції ґрунту, причому вапно доцільно вносити під культивацію, а його дозу розраховувати за нормативами витрат $CaCO_3$ на нейтралізацію одиниці кислотності (0,1 pH_{KCl}).

Вапнування кислих ґрунтів — це захід тривалої дії, тому неякісне його проведення негативно позначається на родючості ґрунтів протягом багатьох років. У зв'язку з цим слід суворо дотримуватися рекомендованих норм, строків, способів, глибини заробляння, рівномірності внесення та черговості використання вапна на полях сівозміни. Відхилення фактичної норми внесення вапна від розрахованої за гідролітичною кислотністю не повинно перевищувати 10 %, нерівномірність внесення по ширині поля — 25 – 30 %.

Потребу у вапнуванні кислих ґрунтів визначають за гідролітичною кислотністю, pH сольової витяжки з урахуванням гранулометричного складу та вмісту гумусу, ступенем насичення ґрунту основами з урахуванням набору сільськогосподарських культур у сівозміні.

Норми вапна встановлюють за:

- гідролітичною кислотністю; для цього вміст водню, виражений у міліграм-еквівалентах на 100 г ґрунту, множать на коефіцієнт 1,5, оскільки 1 мг-екв H^+/ 100 г ґрунту відповідає 1,5 т/га $CaCO_3$; цей метод найточніший;
- значенням pH сольової витяжки з урахуванням гранулометричного складу ґрунту;
- нормативами витрат вапна для зміщення значення pH на 0,1.

За даними Г.А. Мазура, 1 т вапна ($CaCO_3$) збільшує pH піщаних ґрунтів на 0,66, супіщаних — на 0,27, легкосуглинкових — на 0,18. Для підвищення pH ґрунту на 0,1 потрібні такі дози вапна, т/га: для піщаних ґрунтів — 0,12 – 0,16; для супіщаних — 0,35 – 0,40; для суглинкових — 0,50 – 0,60.

В усіх зонах поширення кислих ґрунтів незалежно від вирощуваних культур дозу вапна визначають за гідролітичною кислотністю ґрунту.

Останнім часом для розрахунку норм вапна часто вдаються до нормативного методу (табл. 10.4).

За цим методом дозу $CaCO_3$ розраховують за формулою

$$Д = \Delta pH x,$$

де $Д$ — доза $CaCO_3$, т/га; ΔpH — різниця між оптимальним і фактичним значеннями pH_{KCl}; x — норматив витрат $CaCO_3$, т/га, для зміщення pH на 0,1.

Таблиця 10.4. **Нормативи оптимальних значень pH_{KCl} різних типів ґрунтів на витрати $CaCO_3$ для зміни pH на 0,1**
(за Т.А. Грінченком та ін.)

Тип ґрунту	Значення pH_{KCl}		ΔpH_{KCl}	Норматив витрат $CaCO_3$ для зміни pH на 0,1 т/га	Витрати $CaCO_3$ на ΔpH, т/га
	вихідне	оптимальне			
Дерново-підзолистий	< 4,5	5,5	1,2	0,35	4,2
	4,6 – 5,0	5,5	0,7	0,47	3,29
	5,1 – 5,5	5,5	0,2	0,90	1,80
Сірий опідзолений	< 4,5	5,9	1,6	0,86	10,8
	4,6 – 5,0	5,9	1,1	0,79	8,69
	5,1 – 5,5	5,9	0,6	0,86	5,16

П р и м і т к а. На ґрунтах з pH_{KCl} 5,6 – 6,0 норма вапна на нейтралізацію кислотності мінеральних добрив становить 3 т/га $CaCO_3$.

Повторне або підтримувальне вапнування доцільно проводити в разі зниження pH на 0,5 одиниці відносно оптимального значення pH для даної сівозміни, оскільки воно дає високий позитивний ефект, посилюючи дію мінеральних добрив.

Строки повторного вапнування залежать від норми та якості вапнякових матеріалів, кількості опадів, форм і норм добрив, набору культур у сівозміні (табл. 10.5).

Таблиця 10.5. **Показники кислотності дерново-підзолистих і сірих опідзолених ґрунтів (pH_{KCl}), за яких доцільно проводити повторне вапнування**

Гранулометричний склад ґрунту	Тип сівозміни			
	Польова з великими площами льону	Польова з багаторічними травами та невеликими площами льону, картоплі, люцерни	Польова з цукровими буряками та люцерною	Кормова та овочево-кормова
Піщаний і супіщаний	4,8	5,0	5,3	5,2
Легко- та середньосуглинковий	5,0	5,2	5,6	5,4
Важкосуглинковий та глинистий	5,2	5,4	5,8	5,6
Торфовий	4,4	4,6	5,2	5,0

Середня періодичність вапнування ґрунтів у різних регіонах України неоднакова: на Поліссі — 6 – 7 років, у Лісостепу — 6 – 9, Карпатах і Закарпатті — 4 – 6 років.

Вапнування проводять практично протягом усього року. В теплий період вапнують перезволожені ґрунти і ґрунти на горбистих ділянках полів, навесні та восени — добре дреновані ґрунти, влітку — вільні від посівів поля. Вапно можна вносити взимку на рівні поля, на яких висота снігового покриву не перевищує 30 см. При цьому вологість вапнякових добрив має бути не вищою за 7 %, а швидкість вітру — не більш як 5 м/с. Вапно вносять під культури, які добре реагують на вапнування, або під їх попередники, а половинні норми — також під льон і люпин. Його не можна вносити взимку на посівах озимих культур і багаторічних трав.

Застосовують такі технології вапнування ґрунтів:

- у разі пилуватих вапнякових матеріалів — прямотечійну з використанням машин РУП-8 та АРУП-8, а на полях, де використання цих машин неможливе, — перевалочну;
- у разі слабкопилуватих вапнякових матеріалів за невеликої відстані поля від складу або місця добування місцевих матеріалів (до 15 км) — прямоточну, за більшої відстані — перевалочну, яка нині є найпоширенішою.

За даними агрохімічної служби України, за підвищення pH дерново-підзолистих ґрунтів від 5 до 6 врожайність озимої пшениці зростає на 45 – 50 %, ячменю на 12 – 15 %, а за підвищення pH від 4,4 до 5,5 врожайність озимого жита збільшується на 20 – 25 %. Оптимальні значення pH у польових сівозмінах з озимою пшеницею для дерново-підзолистих ґрунтів Полісся становлять близько 6, для ґрунтів Лісостепу — 6,5 – 6,7.

Ефективність вапнування залежить від ступеня кислотності ґрунту: чим він вищий, тим більші потреба у вапнуванні та прирости врожаю.

Багаторічними польовими дослідженнями та спостереженнями у виробничих умовах встановлено, що вапнування кислих ґрунтів забезпечує підвищення врожаю озимих зернових на 2,5 – 3,0 ц/га, озимої пшениці — до 5, коренів цукрових буряків — до 40 – 50, сіна конюшини — до 10 ц/га.

Приріст урожаю та вартість додаткової продукції, отриманої внаслідок вапнування сильно- й середньокислих ґрунтів, у 2 – 3 рази вищі, ніж при вапнуванні слабкокислих. Особливо високі прирости врожаю дають овочеві культури, багаторічні трави, кормові коренеплоди і кукурудза. Позитивна дія повної дози вапна за тривалий період (7 – 8 років) забезпечує приріст урожаю близько 30 ц/га зернових одиниць.

До хімічної меліорації належить і гіпсування лужних ґрунтів — солончаків, солонців та ґрунтів із різним ступенем солончакуватості

і солонцюватості. Засолені ґрунти поширені в Степовій та Лісостеповій зонах України, де займають площу близько 2,2 млн га орних земель. Концентрація легкорозчинних солей у них досягає 0,1 – 0,3 %.

Солонці й солонцюваті ґрунти як правило розміщуються в комплексі з іншими ґрунтами, займають від 4 до 80 % площі. Мають негативні водно-фізичні та агрономічні властивості, що пояснюється підвищеним вмістом у них колоїдів та значною кількістю увібраних катіонів натрію і магнію. Вони характеризуються підвищеною лужністю (pH 7,5 – 9,5), високою в'язкістю, липкістю, поганими водопроникністю і набуханням у вологому стані, сильним ущільненням, розтріскуванням і безструктурністю у сухому стані. На таких ґрунтах рослини страждають від нестачі вологи в посушливі періоди та від нестачі повітря — у вологі.

За глибиною залягання сольового горизонту засолені ґрунти поділяють на: солончакові (солі в шарі 0 – 30 см); солончакуваті (30 – 80 см); глибоко солончакуваті (80 – 150 см); глибоко засолені (глибше 150 см).

За вмістом увібраного натрію їх поділяють на: несолонцюваті — < 5 % ємності вбирання; слабкосолонцюваті — 10 – 20 %; солонці — > 20 % (залягають окремими плямами).

За складом солей солонці поділяють на содові, содово-сульфатні, сульфатно-содові, хлоридно-содові, содово-хлоридно-сульфатні (Лісостеп), хлоридні, сульфатні, хлоридно-сульфатні (Степ).

Гіпсування ґрунтів проводять за вмісту увібраного натрію понад 5 % ємності катіонного обміну. Витісняють увібраний натрій та нейтралізують ґрунт внесенням гіпсу, фосфогіпсу, сульфату заліза, сульфату алюмінію, хлориду або нітрату кальцію, дефекату, неорганічних кислот (сірчаної, соляної, азотної), кислих органічних відходів промисловості (лігнін) тощо.

Найчастіше для меліорації солонців і засолених ґрунтів використовують гіпс і фосфогіпс. Норму гіпсу визначають за формулою

$$H = 0{,}086\ (\mathrm{Na} - 0{,}1E)hd,$$

де H — норма гіпсу ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), т/га; Na — вміст увібраного натрію, мг-екв/100 г ґрунту; E — ємність вбирання, мг-екв/100 г ґрунту; h — глибина меліоративного шару ґрунту, см; d — щільність ґрунту, г/см^3.

Ефективність гіпсування залежить від ступеня зволоження ґрунтів, реакції ґрунтового розчину, глибини залягання ґрунтових вод, способів внесення гіпсу тощо. Меліоранти краще вносити по паровому полю під просапні культури (кукурудзу, цукрові буряки) та багаторічні бобові трави. На солонцюватих ґрунтах повну їх норму вносять під оранку. На мілкостовпчастих солонцях половину норми

меліоранту вносять під оранку, а решту — під культивацію, на глибокостовпчастих солонцях — 0,75 норми під оранку і 0,25 норми — під культивацію.

Ефективне поліпшення солонцюватих ґрунтів і солонців можливе в разі комплексного застосування агротехнічних, меліоративних, агрохімічних і біологічних заходів, які мають охоплювати: внесення меліорантів; обробіток ґрунту чизельними розпушувачами на глибину 35 – 45 см або плантажну оранку на глибину 55 – 60 см; вирівнювання поверхні поля; регулювання поверхневого стоку, влаштування дренажу й промивного водного режиму за рахунок зрошення і снігозатримання; внесення органічних, зелених і мінеральних добрив; створення після меліорації сприятливого агробіологічного фону висіванням солестійких рослин (у перші роки — буркуну, суданської трави, люцерни, а в міру окультурення — ячменю, озимої пшениці, сорго, цукрових буряків).

10.9. Захист ґрунту від ерозії — метод збереження його енергопотенціалу

Ерозія ґрунтів — це руйнування їх під впливом природних і антропогенних чинників, основними з яких є вода, вітер, механічна дія ґрунтообробних знарядь, забруднення середовища, витоптування тощо. Внаслідок ерозії ґрунтів втрачається значна частина родючих земель, катастрофічно знижується загальний рівень родючості орних земель.

Залежно від чинників руйнування ґрунтів розрізняють водну, вітрову, агротехнологічну, антропогенну, пасовищну ерозію та ін.

Водна ерозія поширена повсюдно, але найбільше — в районах з пересіченою місцевістю. Розрізняють площинну, або поверхневу, та лінійну, або яружну, водну ерозію. За площинної ерозії змиваються верхні шари ґрунту, за лінійної ґрунт розмивається з утворенням вимоїн і ярів. Площинна ерозія супроводжується руйнуванням і змиванням поверхневого шару ґрунту рівномірно по всій площі, при цьому втрачається найродючіший шар ґрунту. Розрізняють також іригаційну водну ерозію, яка виявляється у змиві ґрунту під час зрошення.

Розвиток водної ерозії залежить від рельєфу місцевості. Руйнування ґрунтів водою починається за кута нахилу території 1 – 2°.

За ступенем еродованості ґрунти поділяють на слабко-, середньо-, сильно- і дуже змиті. У слабкозмитих ґрунтах зруйнована не більш як половина гумусового горизонту, трапляється на слабкопологих схилах серед незмитих ґрунтів. У середньозмитих ґрунтах гумусовий горизонт зруйнований на 2/3, знаходяться вони на пологих і

стрімких схилах. У сильнозмитих ґрунтах повністю зруйнований гумусовий горизонт і частково — перехідний, залягають вони на стрімких і опуклих схилах. У дуже змитих ґрунтах повністю зруйновані як гумусовий, так і перехідний горизонти.

Водна ерозія виявляється в усіх зонах країни на схилах понад 0,5°. У середньому з одного гектара схилових земель змивається до 15 т родючого шару ґрунту, а у Вінницькій, Закарпатській, Івано-Франківській, Львівській, Тернопільській та Харківській областях — 23 – 27 т. Внаслідок цього втрачається 500 кг/га гумусу, 500 – 700 кг/га елементів живлення, що в 2 – 3 рази більше, ніж їх вносять із добривами. На посівах просапних культур, розміщених на схилах понад 3°, змив ґрунту зростає до 30 – 50 т/га за допустимого рівня 4 – 6 т/га.

Руйнування поверхні ґрунту під дією сильних вітрів називають *вітровою ерозією*, або *дефляцією*. Вона виявляється у вигляді пилових (чорних) бур і місцевої (повсякденної) вітрової ерозії. Розпочинається за швидкості вітру 3 – 4 м/с на супіщаних, 4 – 6 м/с — на легкосуглинкових, 5 – 7 м/с — на важкосуглинкових і 7 – 9 м/с — на глинистих ґрунтах. Вітрова ерозія поширена у степових посушливих районах. Вітер зносить з полів верхній шар ґрунту (пилові бурі), видуває рослини або засипає посіви, зрошувальні системи ґрунтом і піском. Пилові бурі охоплюють великі території й повторюються періодично. Дрібні часточки ґрунту (менші за 0,25 мм) можуть переноситись на десятки, сотні, тисячі кілометрів від місця видування.

За даними М.Й. Долгілевича, у Степовій зоні України в середньому за рік видувається 21,5 млн т дрібнозему, з яким виноситься 39,5 тис. т фосфору.

Великої шкоди завдає місцева вітрова ерозія, яка виявляється у вигляді верхової і поземки: часточки ґрунту переносяться вітром на невеликі відстані або перекочуються по його поверхні, пошкоджуючи сходи сільськогосподарських культур.

Кількісно процеси ерозії оцінюють за інтенсивністю втрат ґрунту, тобто в тоннах на гектар за рік або в міліметрах за рік. У цих одиницях вимірюють і швидкість процесів ґрунтотворення. Порівнявши інтенсивність втрат ґрунту зі швидкістю ґрунтотворення, можна оцінити ступінь небезпеки ерозії.

Ерозійні процеси за характером поділяють на нормальні і прискорені. *Нормальна (геологічна) ерозія* відбувається під природною рослинністю, не зміненою діями людини (цілинні степи, ліси, луки, пасовища та ін.). За своєю природою вона дуже повільна і, як правило, не призводить до утворення еродованих ґрунтів, тому що втрати ґрунту протягом року повністю компенсуються його утворенням. *Прискорена (антропогенна) ерозія* розвивається там, де внаслідок господарської діяльності людини природну рослинність зни-

щено, а територія використовується без урахування її природних властивостей. У цьому разі втрати ґрунту набагато вищі за його утворення, що призводить до різкого зниження родючості. Такій ерозії легше і дешевше запобігти, ніж боротися з її наслідками.

Площа ерозійно небезпечних ґрунтів в Україні досягла 17,0 млн га, у тім числі 5,0 млн га орних земель зруйновано вітром. Ерозія прогресує зі швидкістю 100 – 120 тис. га за рік.

За останні десятиліття дефляція ґрунтів охопила й територію Полісся, вона руйнує осушені торфовища і мінералізовані переосушені землі, а також переміщує піски на пасмових формах рельєфу, навіть вкритих лісовою рослинністю. Втрати дрібнозему на Поліссі, за даними М.Й. Долгілевича, становлять 2 – 5 т/га за рік.

Останнім часом допустиму норму ерозії запропоновано встановлювати за швидкістю гумусоутворення у верхньому шарі ґрунту і за потребою органічного матеріалу для цього. *Норма ерозії* — це та гранична інтенсивність ерозії, яка компенсується ґрунтотворенням, точніше, за визначенням М.М. Заславського, гумусонакопиченням.

Для різних типів ґрунтів встановлено такі норми ерозії (за М.К. Шикулою та ін.), т/га: дерново-підзолисті — 1; ясно-сірі та сірі ґрунти — 2; темно-сірі — 3; чорноземи вилужені — 5; чорноземи глибокі — 6; чорноземи звичайні — 4; чорноземи південні та каштанові ґрунти — 3.

Допустимі втрати ґрунту не повинні перевищувати 0,2 – 0,5 т/га за рік. Річні втрати ґрунту класифікують за такою шкалою, т/га: незначні — до 0,5; слабкі — 0,5 – 1,0; середні — 1,0 – 1,5; сильні — 5 – 10; дуже сильні — > 10.

Захист ґрунтів від ерозії передбачає здійснення профілактичних заходів для запобігання її розвитку та вжиття конкретних заходів щодо ліквідації ерозії там, де вона вже розвинулась. Комплекс заходів щодо захисту ґрунтів від водної ерозії охоплює агротехнічні, лукомеліоративні, лісомеліоративні, гідротехнічні та організаційно-господарські.

Для запобігання процесам ерозії велике значення мають такі основні агротехнічні заходи:

- різноглибинний безполицевий обробіток ґрунту упоперек схилів з мульчуванням його стернею;
- безполицеве лущення та культивація із залишанням стерні на поверхні поля;
- щілювання ґрунтів на глибину 50 – 60 см упоперек схилів через кожні 5 – 7 м;
- терасування стрімких схилів, нарізування валів упоперек схилів, борознування та ямкування зябу;
- впровадження ґрунтозахисних сівозмін;

• внесення органічних і мінеральних добрив, у тім числі нетоварної частини врожаю — стебел кукурудзи, соняшнику, гички, сидератів, соломи;

• снігозатримання та регулювання сніготанення;

• залуження ерозійно небезпечних ділянок багаторічними травами;

• зміна структури посівних площ.

До лукомеліоративних протиерозійних заходів належить:

• докорінне поліпшення пасовищ знищенням природних малопродуктивних трав, посівом і вирощуванням культурних трав;

• докорінна меліорація пасовищ, у тім числі із засоленими та солонцюватими ґрунтами;

• поверхневе поліпшення пасовищ;

• щілювання пасовищ і висівання трав;

• догляд за пасовищами;

• періодичне відновлення травостою пасовищ;

• загальне планування (вирівнювання) поверхні пасовищ і засипання вимоїн;

• виположування ярів у разі розчленування пасовищ ярами завглибшки до 10 м.

З лісомеліоративних протиерозійних заходів найважливішими є:

• полезахисні лісосмуги упоперек схилів для затримання поверхневого стоку, а також вітрозахисні лісосмуги, які влаштовують на межах полів сівозміни;

• насадження навколо ставів і водойм;

• суцільне або плямисте залісення еродованих чи ерозійно небезпечних земель (пісків, виходів гірських порід на поверхню та інші ділянки землі, які непридатні для сільськогосподарського використання).

Гідротехнічні протиерозійні заходи доцільно застосовувати тільки тоді, коли інші неспроможні запобігти ерозії. До них належать спеціальні споруди для регулювання стоку:

• водозатримні вали — влаштовують на відстані, не ближче від трьох глибин яру від його вершини;

• вали-тераси — споруджують на ріллі для повного затримання стоку;

• вали-лимани та вали-шляхи — водозатримні гідротехнічні споруди на межі полів сівозміни;

• донні та вершинні водоскидні споруди (загати, лотки-швидкотоки, східчасті перепади, консолі та ін.).

10.10. Ґрунтозахисна контурно-меліоративна система землеробства. Поняття, основні ланки

Диференційоване використання орних земель, контурно-смугова організація території. У боротьбі з ерозією як дуже негативним агроекологічним чинником велике значення має *ґрунтозахисна система землеробства* — комплекс природоохоронних заходів, які треба розробляти для кожного регіону й господарства. Основними її ланками є: контурно-меліоративна організація території з напрямними лініями обробітку ґрунту та системи сівозмін, ґрунтозахисного обробітку ґрунту, удобрення культур, захисту рослин від бур'янів, хвороб і шкідників, машин і знарядь, насінництва.

Системи обробітку ґрунту, удобрення та захисту рослин у комплексі забезпечують ґрунтозахисні технології вирощування культур, які розробляють для кожної зони чи регіону. Всі ґрунтозахисні технології разом з протиерозійною організацією території, гідро-, лісо- та лукомеліоративними заходами формують загальну або регіональну ґрунтозахисну систему землеробства.

Освоєння ґрунтозахисної системи землеробства з контурно-меліоративною організацією території забезпечує захист ґрунтів від ерозії та інших чинників деградації ґрунтового покриву, розширене відтворення родючості, формування екологічно стійких агроландшафтів, підвищення врожайності вирощуваних культур і валового збору сільськогосподарської продукції.

10.11. Еколого-технологічні групи орних земель

Еколого-технологічна група орних земель — це землі, виділені й об'єднані в окремі групи з урахуванням стрімкості схилу, еродованості, інтенсивності використання при контурно-меліоративній організації території. З метою формування в господарствах ерозійно стійких агроландшафтів орні землі за стрімкістю схилів поділяють на три еколого-технологічні групи.

Перша група — рівнинні землі, а також схили до 3°. Сюди належать усі орні землі, технологічно придатні для вирощування просапних культур в інтенсивних польових сівозмінах. Площа під багаторічними травами на цих землях мінімальна або їх не вирощують зовсім. На контурних полях цієї групи застосовують ґрунтозахисну агротехніку — плоскорізний, чизельний та інший обробіток ґрунту за напрямком горизонталей. Для відтворення родючості ґрунту збільшують норми внесення органічних і мінеральних добрив.

Друга група — оброблювані землі на схилах від 3 до 7°. Тут застосовують інтенсивні зернотравні сівозміни без просапних культур.

Крім багаторічних трав у сівозмінах вирощують культури, які мають високу ґрунтозахисну ефективність, — озимі та ярі зернові, однорічні трави. На землях цієї групи застосовують ґрунтозахисний обробіток у поєднанні з мульчуванням ґрунту соломою та іншими післяжнивними рештками.

Третя група — орні землі на схилах понад 7°, на яких важко проводити навіть найпростіші технологічні операції. Їх засівають багаторічними травами і вилучають із ріллі. Такі землі перетворюються на штучні сіножаті з сіяних багаторічних трав.

У процесі землевпорядкування здійснюється перехід від прямолінійної до контурної організації території з розміщенням сівозмін, полів і робочих ділянок, шляхів, полезахисних лісосмуг та інших елементів з максимальним наближенням до напрямку горизонталей або з допустимим відхиленням від них.

10.12. Агролісомеліорація — основа системи протиерозійних заходів

Агролісомеліорація — це система лісонасаджень, яка забезпечує поліпшення ґрунтових і кліматичних умов вирощування сільськогосподарських культур.

Ліс, як і трави, є одним із найпотужніших механізмів природи для запобігання водній та вітровій ерозіям ґрунтів.

Всередині лісонасаджень формується лісова підстилка, ґрунт стає менш щільним, значно зростає його водопроникність.

У поліпшенні природних умов для сільськогосподарського виробництва та запобігання негативним наслідкам його інтенсифікації (ерозія ґрунтів, забруднення та замулення водних об'єктів тощо) важливого значення набувають ефективне використання і відтворення лісових насаджень — *захисне лісорозведення*. Сучасне сільськогосподарське виробництво зобов'язане передбачати не тільки використання природних умов і ресурсів, а й їх охорону, відновлення й перетворення.

На основі глибокого вивчення змін природних умов степів В.В. Докучаєв розробив систему заходів проти посухи, суховіїв та ерозії ґрунту, в якій провідне місце відведено лісорозведенню. Ця система передбачає: регулювання річок і закріплення ярів; будівництво протиерозійних ставів; зрошення; встановлення певного співвідношення площ ріллі, луків і лісу залежно від місцевих умов; використання більш пристосованих до степових умов сортів сільськогосподарських культур; застосування найдосконаліших прийомів обробітку ґрунту.

Агролісомеліоративні насадження й природні ліси в комплексі із сільськогосподарськими угіддями утворюють лісоаграрні ландшаф-

ти, в яких створюються сприятливі умови для підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь та охорони навколишнього середовища.

Лісові насадження як один із важливих компонентів природних комплексів сприяють інтенсифікації процесу ґрунтотворення, підвищенню врожайності сільськогосподарських культур, впливають на формування мікроклімату, баланс тепла і вологи, ослаблюють водну й вітрову ерозії, запобігають обмілінню, забрудненню та замуленню річок і водойм.

В зв'язку з тим що лісові насадження виконують різноманітні меліоративні функції протягом тривалого часу, вони є основною постійно діючою складовою частиною *захисних інженерно-біологічних комплексів*, що є системою запроваджуваних у межах водозбору організаційно-господарських, технологічних, агротехнічних, луколісомеліоративних, гідротехнічних та інших заходів, спрямованих на формування сприятливого мікроклімату, зменшення інтенсивності ерозійних процесів, підвищення родючості ґрунтів, запобігання негативним наслідкам сільськогосподарського виробництва.

Агролісомеліоративні насадження на місцевості мають бути єдиною біологічною меліоративною системою і займати територію окремих водозборів.

10.13. Групи захисних лісових насаджень на сільськогосподарських землях

Полезахисне лісорозведення є найважливішою складовою частиною агролісомеліорації, яка передбачає поліпшення ґрунтово-кліматичних умов для вирощування сільськогосподарських культур і захист ґрунтів від ерозії за допомогою створення полезахисних лісових смуг.

Лісові насадження зменшують швидкість вітру, затримують на полях сніг, сприяють підвищенню вологості ґрунту і повітря, поліпшують гідрологічний режим місцевості, знижують випаровування вологи з ґрунту, захищають його та сходи сільськогосподарських культур від видування. Ці насадження належать до протиерозійних заходів постійної дії з тривалими строками окупності. Їх диференціюють за меліоративними функціями та за місцем розташування.

Лісові насадження мають бути багатофункціональними. У районах зі значним поверхневим стоком талих вод та інтенсивним снігоперенесенням основним їх завданням є ефективна дія на процеси формування поверхневого стоку за рахунок впливу на напрямок і швидкість вітру, температури повітря і ґрунту, динаміку снігового

покриву, інтенсивність танення снігу та врожайність сільськогосподарських культур.

Функціональна ефективність лісових насаджень забезпечується відповідним добором дерев і чагарників, застосуванням найдоцільніших схем розміщення в посадках і спеціального догляду, а також збереженням захисної дії для своєчасного відтворення посадок у певних місцях.

До захисних насаджень належать полезахисні та водорегулювальні лісосмуги, насадження навколо ставів та водойм, прибалкові та на незручних землях.

Полезахисні лісосмуги — це група захисних лісових насаджень, призначених для запобігання вітровій ерозії, поліпшення водного режиму ґрунту, захисту культурних рослин від посухи та шкідливого впливу суховіїв, збереження агроценозів тощо. Їх насаджують по межах полів та сівозмін і орієнтують упоперек напрямку вітрів, які спричинюють пилові бурі чи повітряну посуху. Вони поліпшують мікроклімат поля, сприяють затриманню снігу й підвищенню врожаїв сільськогосподарських культур. Досвід застосування полезахисних смуг засвідчує найвищу їх ефективність щодо запобігання чи ослаблення вітрової ерозії, снігозатримання, поліпшення мікроклімату в міжсмуговому просторі в тому разі, коли їх конструкція ажурна або продувна і якщо вони поєднуються з ґрунтозахисним безполицевим обробітком ґрунту.

Водорегулювальні лісосмуги висаджують на межі полів сівозмін і орієнтують довгим боком точно упоперек схилу. Вони перехоплюють поверхневий стік і переводять його у внутрішньоґрунтовий, а також поліпшують мікроклімат міжсмугового простору. Водорегулювальні лісосмуги застосовують на водозбірних схилах як основні, додаткові і допоміжні насадження. Основні лісосмуги завширшки 9 – 12 м розміщують по горизонталях і дещо спрямляють їх у місця пересікання з улоговинами. Додаткові водорегулювальні лісосмуги завширшки 7 – 9 м на схилі застосовують тоді, коли основна смуга такого самого призначення не забезпечує повного регулювання поверхневого стоку із водозбору, внаслідок чого ґрунт у нижній частині схилу та на берегах гідрографічної мережі розмивається. Розміщують їх як безпосередньо вздовж бровки гідрографічної мережі (прибалкові), так і на деякій відстані від неї, а в разі сильного розмивання берегів мережі — безпосередньо вздовж її кромки.

Насадження навколо ставів та водойм належать до рекреаційних, тобто тут влаштовують зони відпочинку. Ґрунтозахисна роль таких насаджень полягає в запобіганні абразії берегів, захисті земляних гребель від руйнування хвилеприбоєм та у разі переливання води через греблі. У верхів'ях ставів із чагарникових порід влашто-

вують мулофільтри, які осаджують дрібнозем, що надходить зі стоком і може замулювати стави.

Прибалкові насадження поглинають стік, що надходить з полів, поліпшують мікроклімат місцевості, відгороджують ріллю від природних кормових угідь. Для запобігання спасуванню худобою польових культур їх відгороджують колючими чагарниками і деревами (шипшиною, глодом, лохом).

Насадження на незручних землях влаштовують на ділянках, непридатних для сільськогосподарського використання. Вони мають бути залісеними, оскільки ліс — це легені планети. Чим більше лісів, тим здоровіше, чистіше і більш насичене киснем повітря.

У лісомеліоративні насадження доцільно включати їстівні та лікарські породи дерев і чагарників — грецький горіх, ліщину, фундук, глід, обліпиху, шипшину, грушу, яблуню, чорну смородину тощо.

За однакових географічних, метеорологічних та інших умов ефективність впливу лісових насаджень залежить від їхньої конституції, під якою розуміють їх будову в поздовжньому профілі.

Полезахисні смуги характеризуються ажурністю, або відношенням площі просвітів у поздовжньому профілі лісових смуг до загальної площі цього профілю. Ажурність визначають, коли дерева повністю вкриті листям. За ступенем ажурності та характером розміщення просвітів розрізняють такі основні види конструкцій:

- *щільну* — лісосмуги у поздовжньому профілі не мають наскрізних просвітів або їх кількість за рівномірного розміщення не перевищує 10 % загальної площі профілю; як правило, це багаторядні лісові смуги складної будови з густокронних деревних порід і густого високорослого підліску, які мають суцільні чагарникові або пористеві узлісся, що змикаються з нижньою частиною крон дерев; крізь такі смуги вітер майже не проникає, а на завітряних узліссях зберігається повний затишок;
- *ажурну* — лісові смуги, в яких у поздовжньому профілі рівномірно розміщені наскрізні просвіти загальною площею 15 – 45 % усієї його площі. Це порівняно вузькі (не більш як 7 рядів) лісосмуги, що складаються з рідкокронних або рідко розміщених дерев з негустим підліском чи без нього, але з низько опущеними до землі кронами у дерев крайніх рядів; вони рівномірно продуваються вітром, основна частина повітряного потоку проходить крізь них без зміни напрямку, але швидкість його зменшується, на завітряному узліссі швидкість вітру зменшується різко;
- *продувну* — лісосмуги, в яких у середній та верхній частинах поздовжнього профілю немає наскрізних просвітів або їх кількість не перевищує 10 % усієї площі цієї частини профілю, а в нижній приземній — просвіт суцільний, що створює ажурність понад 60 %; в основному це вузькі смуги (до 7 рядів) з густокронних порід без ча-

гарників або з низьким чагарниковим підліском, який не досягає нижньої частини крон дерев; повітряний потік, що підходить до смуги, розділяється на дві частини: верхня проходить крізь насадження, а нижня з підвищеною швидкістю проникає крізь просвіт під кронами дерев, при цьому в лісосмузі та на її узліссі, в тім числі й на завітряному, швидкість вітру буває навіть більшою, ніж у відкритому полі.

В агрономічному та меліоративному плані найефективнішими є лісосмуги продувної конструкції, найменш ефективними — лісосмуги щільної конструкції, ажурні — займають проміжне місце.

Ефективна дія полезахисних лісосмуг спостерігається на відстані до 30 висот деревних насаджень.

Лісові смуги, розміщені вздовж довгих боків полів, називають *основними*, або поздовжніми, вздовж коротких — *допоміжними*, або поперечними. Полезахисні лісосмуги розміщують, як правило, у двох взаємно перпендикулярних напрямках: поздовжні — впоперек напрямку панівних у даному районі шкідливих вітрів, поперечні — впоперек поздовжніх смуг, які захищають поля від вітрів інших напрямків.

В умовах хвилястого рельєфу з поширеними процесами водної ерозії поздовжні смуги з метою водорегулювання розміщують упоперек схилів 2° і більше на суглинкових та 3 – 4° і більше — на супіщаних ґрунтах. Поздовжні смуги висаджують на межах полів сівозміни, в середині їх з урахуванням рельєфу місцевості та загальної організації території господарства. Допускається відхилення цих смуг до 30 – 45° від перпендикулярного напрямку до найбільш шкідливих вітрів. Рекомендовані відстані між полезахисними лісосмугами для різних ґрунтово-кліматичних зон наведено в табл. 10.6.

За рекомендованих відстаней між лісосмугами площа полів становитиме 70 – 120 га. На піщаних і супіщаних ґрунтах і схилах понад 3° площа полів менша (мінімальна — 12,5 – 15 га).

За складом деревних порід лісові смуги бувають простими, якщо складаються з однієї породи, і змішаними, якщо до їх складу входять декілька деревних або деревні і чагарникові породи.

Прості за складом лісосмуги більш придатні для створення вузьких вітроламних ліній зі швидкорослих порід із густою кроною (тополі) або насаджень у специфічних лісорослинних умовах (бідні піщані, заболочені ґрунти тощо), асортимент дерев для яких обмежений.

Полезахисні лісові смуги здебільшого змішані, вони характеризуються кращим ростом, вищою біологічною стійкістю порівняно з простими насадженнями.

При складанні схем лісових смуг слід пам'ятати, що основна порода у змішаних насадженнях має займати не менш як 50 – 60 % посадкових місць. Основні й допоміжні породи висаджують, як правило, рядами, а чагарники чергують через одне посадкове місце з

допоміжною або ажурнокронною породою. В разі створення лісових смуг за участю однієї з ажурнокронних основних порід (береза, горіх, модрина, біла акація) до них треба додавати певні густокронні допоміжні породи.

Таблиця 10.6. **Рекомендовані відстані між полезахисними лісосмугами**

Зона	Рівні місця та схили до 2 – 3°		Схили крутістю від 3 до 8°	
	Відстань між смугами			
	поздовжніми	поперечними	поздовжніми	поперечними
	Суглинкові ґрунти			
Лісостеп	550 – 650	1500 – 2000	450	1500 – 2000
	Чорноземи звичайні та південні			
Степ	450 – 500	1500 – 2000	350 – 400	1500 – 2000
	Супіщані ґрунти			
Лісостеп	350 – 400	1000	—	—
Степ	250 – 300	600 – 700	—	—
	Піщані ґрунти			
Лісостеп	300	500	—	—
Степ	200	400	—	—
	Піщані та супіщані ґрунти			
Полісся	400	700 – 900	300	700 – 900

При влаштуванні полезахисних лісових смуг на суглинкових і глинистих схилах понад 2° і на супіщаних схилах 3 – 4° у складі насаджень слід передбачати чагарникові породи.

Залежно від призначення ширина лісових смуг змінюється (табл. 10.7).

Таблиця 10.7. **Ширина лісових смуг (м) залежно від числа рядів і ширини міжрядь**

Ширина міжрядь, м	Число рядів			
	2	3	4	5
1,5	3	4,5	6,0	7,5
2,0	4	6,0	8,0	10,0
2,5	5	7,5	10,0	12,5
3,0	6	9,0	12,0	15,0
3,5	7	10,5	14,0	—
4,0	8	12,0	16,0	—

Загальну ширину лісових смуг визначають за формулою

$$Ш = Mn,$$

де $Ш$ — ширина смуги, м; M — ширина міжрядь, м; n — число рядів.

Відстані між рядами та рослинами в рядах визначаються ґрунтово-кліматичними умовами. У Лісостеповій зоні відстань між рядами коливається від 2,5 до 3, у Степовій — від 4 до 5 м. Відстань між рослинами в рядах залежить від швидкості їх росту і коливається від 1 до 3 м.

З метою підвищення ефективності безпосереднього впливу лісових насаджень на поверхневий стік їх доцільно поєднувати з простими протиерозійними гідротехнічними спорудами.

Прості гідротехнічні споруди застосовують для: ліквідації кінетичної енергії зосереджених потоків та їх розпилення; затримання в лісосмузі вод місцевого стоку, що надходять з ділянок, розміщених на схилі вище; збільшення водопоглинальної здатності ґрунтів під лісосмугами; відведення надлишку поверхневого стоку з-під пологу лісосмуг.

Конструкція простих гідротехнічних споруд залежить від формування та походження місцевого стоку, розмірів водозбору, стрімкості схилу, ґрунтово-геологічних і гідротехнічних умов, допустимих (нерозмивних) швидкостей водних потоків.

У зонах недостатнього і нестійкого та надмірного зволоження на схилах від 1 до 6° лісосмуги поєднують з водоспрямувальними земляними валами та валами-канавами.

На захищених лісовими насадженнями полях зменшується швидкість вітру, що запобігає видуванню ґрунту, затримуються сніг і поверхневий стік води, захищається ґрунт від змиву й розмиву, змінюється мікроклімат, поліпшуються водний, повітряний і поживний режими ґрунту та умови розвитку сільськогосподарських культур.

10.14. Ґрунтозахисні властивості рослин

Здатність посіву певного виду рослин захищати ґрунт від ерозії характеризують показником середньовиваженого значення проектного покриття ґрунту рослинами в ерозійно небезпечний період. У сівозміні цей показник визначають у відсотках.

Залежно від покриву поверхні поля сільськогосподарські культури виявляють різну ґрунтозахисну здатність. Надійний захист ґрунтів забезпечують багаторічні та однорічні трави, добре розвинені озимі, ранні ярі зернові й зернобобові культури. Після культур суцільної сівби протиерозійний фон зберігається в разі плоскорізного обробітку ґрунту та поліпшується фітомеліоративна дія рослин. Просапні культури до змикання міжрядь мало захищають ґрунт від ерозії, їх ґрунтозахисний вплив посилюється в другій половині літа, коли в рослин добре розвивається листкова поверхня.

Ґрунтозахисна здатність рослин зменшується зі збільшенням стрімкості схилу (див. табл. 9.6). Захищають ґрунт від ерозії не лише

живі, а й відмерлі рослини. На цьому ґрунтується захист ґрунтів від ерозії мульчуванням соломою та післяжнивними рештками. Мульча поглинає енергетичну силу дощових крапель, зменшує швидкість стоку і силу вітру, запобігає інтенсивному випаровуванню. Крім того, мульча є енергетичним матеріалом процесу ґрунтотворення, забезпечує відтворення гумусу, сприяє поліпшенню агрофізичних властивостей ґрунту.

Чим густіші посіви та більша біомаса врожаю, тим вища ґрунтозахисна ефективність сільськогосподарських культур. Важливу ґрунтозахисну роль відіграють кореневі системи рослин. Проникаючи в глибокі горизонти і залишаючись у них після відмирання, корені рослин збільшують пористість, структурність та водопроникність ґрунту, що підвищує його родючість та протиерозійну стійкість.

Протиерозійну роль рослин широко використовують у ґрунтозахисному землеробстві — ґрунтозахисні сівозміни, смугове розміщення культур, вирощування культур суцільної сівби, застосування буферних смуг, залуження схилових ділянок багаторічними травами.

Для боротьби з ерозією ґрунтів на схилах влаштовують полезахисні та водорегулювальні лісосмуги, засаджують яри, піски і землі, непридатні для сільськогосподарського використання. Густа трав'яниста рослинність оберігає ґрунт від водної та вітрової ерозій, але найнадійніше його захищають дерева і чагарники, особливо в посушливих районах країни.

10.15. Ґрунтозахисні сівозміни

Ґрунтозахисними називають сівозміни, в яких набір, розміщення і чергування сільськогосподарських культур забезпечують підвищення врожаїв, захист ґрунтів від водної та вітрової ерозій, створюють умови для підвищення родючості еродованих та ерозійно небезпечних земель. Впровадження цих сівозмін у виробництво поєднують із контурно-меліоративною організацією території, яка включає спорудження різних водорегулювальних систем, смугове розміщення посівів, залуження відповідно до змитості ґрунту, стрімкості схилу та ґрунтозахисної ефективності культур.

Залежно від співвідношення зернових і кормових культур ґрунтозахисні сівозміни бувають польові та кормові. Ці сівозміни здебільшого розміщують на середньо- та сильнозмитих ґрунтах, а також на ерозійно небезпечних площах зі схилами 3 – 7°. В них передбачають переважно 2 – 3-річне використання багатокомпонентних сумішей трав, озимі зернові культури та однорічні 2 – 3-укісні суміші; просапні культури виключаються або використовуються лише за смугового розміщення культур.

Добираючи культури для ґрунтозахисних сівозмін, особливу увагу треба звертати на те, як вони задовольняють потреби господарства, забезпечують захист ґрунтів від ерозії, сприяють підвищенню родючості еродованих ґрунтів, впливають на роботу машино-тракторних агрегатів під час сівби, догляду за посівами та збирання врожаю.

У ґрунтозахисних сівозмінах Полісся та Лісостепу значна частка багаторічних трав (30 – 70 %), належна увага приділяється вирощуванню зернових культур (20 – 50 %) і однорічних трав (10 – 20 %), а на піщаних і супіщаних ґрунтах (30 – 40 %) та післяжнивним посівам (10 – 30 %). На насичення ґрунтозахисних сівозмін різними культурами впливає гранулометричний склад і зволоження ґрунтового покриву. У районах з достатнім зволоженням висівають переважно конюшину, а з нестійким зволоженням — люцерну або еспарцет.

Велику ґрунтозахисну ефективність та продуктивність забезпечують суміші багаторічних трав. У районах достатнього зволоження висівають конюшину зі злаковими травами та люцерну з еспарцетом, а в районах нестійкого і недостатнього зволоження — люцерну з еспарцетом та злаковими травами.

Добре захищають ґрунт від ерозійних процесів післяжнивні й післяукісні посіви багаторічних трав та їх сумішей.

Кулісні, смугові, проміжні, сумісні посіви. *Кулісні посіви* — це смуги або окремі рядки високорослих рослин, висіяних у паровому полі впоперек напрямку панівних вітрів з метою зменшення сили вітру, затримання й накопичення снігу, захисту озимих культур і багаторічних трав від вимерзання. Такі посіви практикують у Степовій та Лісостеповій зонах з використанням соняшнику, кукурудзи, сорго, білої гірчиці та інших високорослих культур, їх культивують також для збільшення запасів води в ґрунті та боротьби з ерозією.

Кулісні посіви складаються з 1 – 2 – 3 рядків рослин, висіяних широкорядно (60 см), більш поширені дворядні куліси. Відстань між кулісами встановлюють з урахуванням стрімкості схилу, типу ґрунту та кратності проходу посівних агрегатів. Кулісні рослини висівають у чистий пар навесні у сприятливі строки та влітку (наприкінці червня — на початку липня). Нині більш поширене літнє висівання куліс. Кулісні посіви високорослих рослин добре затримують сніг і талі води, збільшують запаси продуктивної вологи, зменшують змив і розмив ґрунту, підвищують урожай озимих і ярих культур.

Смугові посіви є одним із важливих заходів підвищення ґрунтозахисної ролі сівозмін.

Смуговими називають посіви, коли поле зайняте не однією культурою чи паром, а кількома культурами, які розміщують не суціль-

но, а точно чергують окремими смугами (стрічками) з метою забезпечення захисту ґрунтів від водної та вітрової ерозій. Для захисту від водної ерозії смугові посіви влаштовують на схилах понад 2° і протяжністю 150 – 200 м, для захисту від вітрової ерозії — перпендикулярно до напрямку панівних вітрів або з допустимим відхиленням від нього.

Смуги посівів поділяють на протистічні та противітрові.

Протистічні смуги (для захисту від водної ерозії) розміщують перпендикулярно до основного напрямку руху схилом рідкого стоку або з допустимим відхиленням від напрямку горизонталей. Ці смуги бувають:

- паралельними (розміщені впоперек загального схилу, але не суворо по горизонталях);
- контурними (спрямовані суворо по горизонталях);
- контурно-паралельними (зорієнтовані суворо паралельно, здебільшого вздовж горизонталей з допустимим відхиленням від них);
- контурно-паралельними із залуженням основних улоговин (водостоків).

Противітрові (протидефляційні) смуги розміщують перпендикулярно (або з відхиленням на 30 – 35°) до напрямку панівних вітрів, які спричинюють пилові бурі.

Усі види смугових посівів крім противітрових застосовують для запобігання як водній, так і сумісній дії водної і вітрової ерозій. За складного, пересіченого улоговинами рельєфу вдаються до контурно-смугового спрямування посівів із залуженням улоговин.

Смугові посіви розміщують двома способами: смуги однорічних трав чергують зі смугами багаторічних; смуги із густопокривних культур — з ерозійно нестійкими фонами або посівами просапних культур.

Ґрунтозахисні властивості смугових посівів сільськогосподарських культур полягають у тому, що за чергування на полях агрофонів надземні органи рослин (стебла і листки) захищають поверхню ґрунту від ударів дощових крапель та повітряних струменів, а їх коренева система міцно утримує часточки ґрунту. Надійність захисту поверхні ґрунту та зменшення швидкості руху й концентрації поверхневого стоку залежать від фази розвитку рослин.

Максимальний захист ґрунту від ерозії на схилах забезпечує смугове розміщення посівів багаторічних трав і озимих культур.

Проміжні посіви в сівозмінах є важливим резервом збільшення виробництва продукції рослинництва та протеїну, а також біологічним протиерозійним засобом. Проміжними посівами називають посіви сільськогосподарських рослин у період часу, вільний від вирощування основних культур сівозміни. Введення їх у сівозміну дає

змогу вирощувати два врожаї за один рік на одній і тій самій земельній площі.

Залежно від строків, способів сівби і тривалості вирощування проміжні культури поділяють на підсівні, післяукісні, післяжнивні та озимі.

Підсівні культури висівають під покрив основної (озимі та ярі зернові) і збирають восени в той самий рік. Одночасне вирощування покривної та підсівної культур може впливати на їхню продуктивність як позитивно, так і негативно, тобто культури бувають сумісними і несумісними. Тому вирішальне значення для отримання врожаїв і покривної, і підсівної культур має їх добір.

Біологічним вимогам підсівних культур найкраще відповідають рослини, які рано звільняють поле. Це озимі й кормові культури, які вирощують для отримання ранніх зелених кормів, а також ранні озимі та ярі зернові. Водночас підсівна культура в період росту під покривом має бути тіневитривалою, повільно рости, використовувати мало вологи і поживних речовин із ґрунту, щоб не пригнічувати покривної культури. В умовах достатнього зволоження до таких належать люпин, буркун, серадела, морква, конюшина, озима та яра вика, а в умовах недостатнього зволоження — люцерна, буркун, еспарцет, сорго, суданська трава. Із зернових найкращою покривною культурою є озимий ячмінь, оскільки його збирають у ранні строки і підсівні культури менше пригнічуються під покривом.

Післяукісні культури висівають навесні або в другій половині літа після скошування на корм озимих, багаторічних і однорічних трав та інших кормових культур. Урожай післяукісних рослин збирають протягом року.

Післяжнивні культури висівають у літньо-осінній період після збирання основної. Їх врожай збирають протягом року.

Озимі культури висівають у рік збирання основної, а їх урожай збирають на корм навесні наступного року, до сівби основної культури.

Ущільнення сівозмін проміжними культурами дає змогу ефективніше використовувати біокліматичний потенціал, родючість ґрунту, створювати посіви, стійкі до несприятливих природних чинників.

Сприятливо впливаючи на водно-фізичні властивості та санітарний стан ґрунту, такі посіви створюють умови для мінімального його обробітку, що посилює ґрунтозахисну роль рослин, знижує енергетичні затрати на їх вирощування, значно підвищує продуктивність ріллі.

Проміжні посіви, закріплюючи ґрунт і накопичуючи поживні речовини, слугують надійним засобом охорони водойм від забруднення добривами і пестицидами.

Рослини проміжних культур збагачують ґрунт на органічну речовину за рахунок стерньових і кореневих решток, які в процесі мінералізації поповнюють ґрунт елементами живлення та гумусом. Рівномірний розподіл у верхніх шарах післяжнивних і кореневих решток підвищує біологічну активність ґрунту, захищає його від несприятливого впливу поверхневого стоку.

Проміжні культури підвищують вміст у ґрунті водостійких агрегатів, особливо в поверхневому шарі 0 – 10 см. Водночас збільшується пористість ґрунту. За впливом на ці показники проміжні культури прирівнюються до багаторічних трав.

Відомо, що добре захищають ґрунт від ерозії багаторічні трави, слабкіше — озимі, дуже слабко — просапні культури. З урахуванням ґрунтозахисних властивостей рослин у сівозміні треба оптимально поєднувати основні і проміжні культури. Правильне їх розміщення в сівозмінах дає змогу упродовж усього теплого періоду займати ріллю продуктивним рослинним покровом, усувати або зменшувати втрати вологи, гумусу, поживних речовин і самого ґрунту від негативного впливу ерозії, підвищувати продуктивність ріллі більш як в 1,5 раза.

Сумісними називають посіви двох або кількох культур на корм (зернофураж), висіяних одночасно чи в різні строки автономно — стрічками, смугами. Збирають їх одночасно в один транспортний засіб або окремо.

Залежно від мети із сумісних посівів можна отримувати: корми з більшим вмістом протеїну; посів, що не вилягає, завдяки наявності в ньому виду або сорту з такою властивістю; суміш компонентів з різними періодами вегетації.

Крім того, такі посіви в багатьох випадках сприяють кращому росту рослин компонентів. Це добре видно в сумісних посівах вики з вівсом, озимої вики з житом, де злакові компоненти ростуть краще порівняно з їх чистими посівами. У них практично не виявляється ґрунтовтома. За вдалого добору рослин сумісні посіви стійкіші до хвороб, шкідників і бур'янів.

10.16. Залуження земельних ділянок

Дуже важливим напрямом зменшення інтенсивності ерозійних процесів, деградації сільськогосподарських агроландшафтів і ґрунтового покриву є вилучення з обробітку та зі складу ріллі земельних ділянок із сильно- й середньоеродованими ґрунтами під постійне їх залуження або залісення.

Під залуження багаторічними травами рекомендується відводити землі схилів понад 5°. Залуження ерозійно небезпечних ділянок

багаторічними травами застосовують, як правило, у місцях проходження великих мас води під час злив і сніготанення: залужені водотоки, водопідвідні улоговини, найстрімкіші ділянки довгих схилів із середньо- та сильнозмитими ґрунтами, кювети вздовж доріг, сильно еродовані ділянки схилів.

Ґрунтозахисна здатність багаторічних трав першого року використання становить 92 %, другого — 97, третього — 99 %, тоді як однорічні суміші (горох, вика, овес або кукурудза з горохом і викою) — тільки 65 %.

При освоєнні схилів під кормові угіддя основною вимогою є запобігання виникненню або зведення до мінімуму ерозії під час залуження. Тому всі види обробітку ґрунту та підготовки його до посіву трав проводять лише упоперек схилів.

Найефективнішим ґрунтозахисним заходом є смугове залуження схилів. У перший рік залуження оброблювані смуги завширшки 25 – 30 м чергують з необроблюваними завширшки 10 – 20 м залежно від стрімкості схилів, зайнятих природним травостоєм, що на початку освоєння схилів слугує захисним буфером від змивання і розмивання ґрунту. Після утворення міцної дернини під посіяними багаторічними травами (через 1 – 2 роки) готують під залуження смуги з природним травостоєм. Для залуження добирають найбільш урожайні та стійкі багаторічні трави з урахуванням екологічних умов їх вирощування (еродованість, реакція ґрунтового розчину, умови вологозабезпечення) та призначення травостою.

Для створення сіяних травостоїв перевагу віддають бобово-злаковим травосумішам, які продуктивніші за чисті посіви, оскільки більше сприяють підвищенню родючості ґрунту, стійкіші проти витоптування тваринами, довговічніші, краще збалансовані за поживними речовинами.

Для залуження схилових угідь Полісся та Лісостепу із бобових використовують конюшину, синьогібридну люцерну, зі злакових — безостий стоколос, лучну вівсяницю, лучну тимофіївку, збірну грястицю, багатоукісний та пасовищний райграс.

У південно-східних районах Лісостепу та Степу в травосуміші включають безостий стоколос, лучну кострицю, високий райграс, безкореневищний пирій та посухостійкіші рослини — прямий стоколос, сизий пирій, вузьколистий житняк та ін. Із бобових компонентів для залуження схилів використовують еспарцет і синьогібридну люцерну, а в південних районах —жовту та жовтогібридну люцерну, на засолених ґрунтах —білий та жовтий буркун.

У Степовій зоні найоптимальнішими травосумішами є:

- на північних схилах — люцерна із сизим або повзучим пирієм;
- на південних, менш родючих, — піщаний еспарцет зі стоколосом, житняком, райграсом.

Залуження схилів проводять напровесні або влітку, коли в ґрунті є достатня кількість продуктивної вологи. Весняні посіви трав добре розвиваються в роки з достатнім зволоженням, особливо в разі створення значних запасів вологи з осені. У посушливі роки вищі врожаї дають трави, висіяні влітку на добре обробленому ґрунті. Кращий час для сівби — липень — перша половина серпня (не пізніше).

Для формування кореневої системи та врожаю надземної маси багаторічні трави потребують фосфорних і калійних добрив, які підвищують зимостійкість рослин, урожайність та якість продукції на всіх ґрунтах.

10.17. Способи та прийоми ґрунтозахисного консерваційного обробітку

Мінімальний обробіток ґрунтів забезпечує їх захист від ерозії, сприяє збереженню вологи, економить енергію. Тому його називають ґрунтозахисним і енергозберігаючим, а також консерваційним

Останнім часом у закордонних країнах дедалі частіше використовують так званий *консерваційний обробіток*, в основу якого покладено застосування чизель-культиватора, що забезпечує суцільне розпушення на глибину 10 см. У глибших шарах ґрунт залишається частково не розпушеним, у вигляді захованих гребенів, що сприяє регулюванню стоку води та запобігає змиву родючого шару.

Американські вчені консерваційним вважають такий обробіток ґрунту, за якого на поверхні поля зберігається не менш як 25 % післяжнивних решток. У Німеччині такий обробіток застосовують в основному на схилах з обов'язковим введенням проміжних культур (фацелія, гірчиця, олійна редька, озимий ріпак, люпин та ін.). За консерваційного обробітку зменшуються втрати води, елементів живлення з поверхневим стоком, а також змив ґрунту. В разі тривалого його застосування органічні речовини й елементи живлення концентруються у верхньому шарі, що сприяє розвитку корисної мікро- та макрофауни, збільшенню чисельності мікроорганізмів, які розкладають клітковину, дощових черв'яків, інших фітосанітарів ґрунту.

Консерваційна система об'єднує всі різновиди ґрунтозахисних способів обробітку ґрунту. В ній переважають безполицеві способи, за яких на поверхні поля зберігаються післяжнивні рештки, але не заперечується доцільність періодичної оранки з перевертанням скиби. Співвідношення відвального та безвідвального обробітку визначають з урахуванням конкретних ґрунтово-кліматичних умов, особливостей рельєфу, виду культур сівозміни.

У системі консерваційного ґрунтозахисного обробітку ґрунту застосовують переважно безполицевий, роторний і комбінований способи.

Консерваційний обробіток ґрунту придатний за всіх природних умов з такими різновидами: на кам'янистих ґрунтах доцільно застосовувати чизельні знаряддя; на ущільнених — важкі робочі органи типу параплау (англійський плуг); в умовах достатнього зволоження — загінний і гребеневий обробітки; на ґрунтах з доброю водопроникністю — пряму сівбу або нульовий обробіток.

Консерваційний обробіток ґрунту дає змогу підвищити виробіток і знизити витрати на виробництво продукції рослинництва без зниження величини врожаю. Водночас ґрунт краще захищається від ерозії та несприятливого ущільнення.

10.18. Системи ґрунтозахисного обробітку

Система ґрунтозахисного обробітку — це сукупність заходів основного і поверхневого способів полицевого, безполицевого, роторного й комбінованого обробітків ґрунту на різну глибину, які здійснюються машинами і знаряддями, а також комбінованими агрегатами. Сучасні ґрунтозахисні системи мають бути енергоресурсозберігаючими та нерозривно пов'язаними з іншими елементами технологій виробництва продукції рослинництва.

Обробіток ґрунту здійснюють за такими системами: під ярі культури — зяблевий, передпосівний, післяпосівний; обробіток ґрунту під озимі культури.

Система ґрунтозахисного обробітку ґрунту має забезпечити: зменшення або повне усунення поверхневого стоку; підвищення протиерозійної стійкості ґрунтових часточок; краще проникнення в ґрунт води.

Головною теоретичного основою ґрунтозахисної системи, на думку академіка А.І. Бараєва, є обробіток ґрунту без перевертання скиби, тобто розпушення його зі збереженням стерні на поверхні поля для запобігання ерозії та зменшення випаровування ґрунтової вологи.

В умовах достатнього зволоження важливими ґрунтозахисними заходами обробітку ґрунту є: оранка впоперек схилу; контурний обробіток; оранка з ґрунтопоглиблювачами або плугом з вирізними полицями; комбінована полицево-безполицева оранка; ступінчаста оранка, за якої парні полиці плуга встановлюють на 10 – 12 см глибше; оранка з одночасним формуванням на полі протиерозійних борозен, валів, переривчастих борозен і ямок; плоскорізний обро-

біток зі збереженням стерні; смугове розпушування ґрунту; щілювання ґрунту і посівів, кротування, борознування та ямкування; мінімальний обробіток.

Систему ґрунтозахисного обробітку застосовують під час основних і передпосівних робіт. Основний обробіток ґрунту та сівбу на схилах проводять лише впоперек або по горизонталях. При цьому кожна борозна, кожен гребінь ріллі і рядок висіяної культури перешкоджають поверхневому стоку, зменшують змив і збільшують запаси вологи в ґрунті.

Залежно від застосовуваних знарядь розрізняють такі види основного ґрунтозахисного обробітку ґрунту:

- полицевий — оранка з перевертанням скиби, кришінням і переміщенням ґрунту на глибину від 16 – 18 до 32 – 40 см;
- безполицевий — глибоке розпушування, перемішування ґрунту плугами без полиць, дисковими плугами, культиваторами-розпушувачами (чизелями);
- поверхневий (на 6 – 8 см) і мілкий (10 – 14 см) — розпушування полицевими та дисковими лущильниками, дисковими боронами, культиваторами, фрезерними барабанами;
- плоскорізний із залишанням стерні в місцях вітрової ерозії; виконують культиваторами-плоскорізами на глибину від 12 – 14 до 22 – 24 см, а в разі потреби — агрегатом з голчастими боронами.

Основний обробіток ґрунту проводять восени на парових полях, навесні після збирання культур у зайнятих парах, у системі зяблевого обробітку під ярі культури, після збирання озимих проміжних, ранніх ярих сумішок та зернових культур під післяукісні, післяжнивні й озимі проміжні посіви.

Передпосівний обробіток ґрунту проводять на парових і непарових полях під посіви озимих, навесні — під посіви ранніх і пізніх ярих, влітку — під посіви післяукісних і післяжнивних кормових та зернових культур для вирівнювання поверхні, накопичення і збереження вологи, очищення поля від бур'янів.

Для кращого використання запасів вологи в орному й посівному шарах ґрунту, отримання дружніх сходів застосовують поверхневий обробіток спеціальними комбінованими агрегатами з дисковими або плоскорізними робочими органами. Вони кришать і розпушують ґрунт на глибину 6 – 8 см і повністю підготовлюють його до сівби. В агрегат можуть входити також сівалка, туковисівні апарати для внесення добрив, легкі котки або шлейфи для післяпосівного коткування чи вирівнювання поверхні ґрунту. Ефективне також фрезерування, після якого ґрунт цілком готовий до сівби.

Обробіток ґрунту по контурах — складова частина контурно-меліоративної організації території та ґрунтозахисної системи землеробства, яка передбачає контурне (в напрямку горизонталей)

проведення всіх операцій щодо вирощування та догляду за рослинами.

В основу ґрунтозахисної системи обробітку ґрунту покладено принцип мінімізації та відмову від перевертання скиби. Перевагами ґрунтозахисної безплужної системи обробітку ґрунту є мобільність технологічних операцій, велика ширина захвату, висока продуктивність роботи плоскорізів, дискових і голчастих борін. Мобільність дає змогу виконувати технологічні операції у найоптимальніші терміни, що сприяє збереженню вологи у ґрунті та знищенню бур'янів. Це дуже важливо для закриття вологи у ґрунті. Дискові борони, плоскорізи чи комбіновані агрегати мають іти слідом за силосо- чи зернозбиральним комбайном, щоб максимально використати післяжнивну стигліcть ґрунту. В цьому разі можна розраховувати на отримання дружніх сходів озимих культур навіть у посушливі роки. Посів у ґрунт, мульчований рослинними рештками, не потребує ранньовесняного боронування для закриття вологи. Система ґрунтозахисного обробітку має бути легкозмінною залежно від умов погоди та вологості ґрунту.

На схилових землях система безплужного обробітку ґрунту охоплює щілювання ґрунту та посівів озимих культур і багаторічних трав. На неглибоких блюдцях для запобігання вимоканню посівів озимих культур і багаторічних трав проводять глибоке щілювання ґрунту в два сліди навхрест з виходом двох проходів щілювання за межі блюдець.

Систему ґрунтозахисного обробітку ґрунту розробляють не тільки для сівозмін, а й для кожної культури, відповідних полів і ділянок. Основою цієї системи обробітку є детальний аналіз і врахування ґрунтових, кліматичних та економічних умов. Навіть в одній і тій самій зоні найкраща система обробітку для одного господарства може виявитись непридатною для іншого, з іншими економічними можливостями й забезпеченістю трудовими ресурсами, особливо для господарств, які різняться ґрунтовим покривом, складом вирощуваних культур і структурою посівів.

10.19. Ґрунтозахисна техніка

У системі ґрунтозахисного обробітку ґрунту застосовують культиватори, плоскорізи, чизель-культиватори, щілинорізи, дискові ямкоутворювачі.

Культиватори, плоскорізи КПШ-5 і КПЕ-3,8 та інші призначені для лущення стерні і дискування ґрунту після зернових колосових на глибину 12 – 18 см. При цьому зберігається до 70 % стерні, яка, прикриваючи ґрунт, у 3 – 5 разів знижує еродуючу силу дощу й за-

побігає утворенню ґрунтової кірки, внаслідок чого зменшується небезпека змиву ґрунту та втрат опадів зі стоком. Плоскорізи КПШ-5 та ОПТ-3-5 особливо ефективні для лущення стерні в Степу і Лісостепу на полях, засмічених повзучим гірчаком і польовим будяком, а протиерозійні КПЕ-3,8, КПЧ-7,2 і чизель-культиватори КЧП-5,4 — на неглибоких ґрунтах, засмічених кореневищними та коренепаростковими бур'янами. Повніше знищення однорічних бур'янів під час лущення стерні досягається в разі агрегатування цих культиваторів і плоскорізів з голчастими боронами БІГ-3А за зволоженого ґрунту та з приставкою ПРВ-3,5 — за сухого.

Чизель-культиватори «Консертіль» спереду обладнані прямими дисками, а ззаду — напівгвинтовими наральниками-чизелями, закріпленими на рамі в три ряди, та чизельними плугами ПЧ-4,5 і ПЧ-2,5, які комплектуються стрілчастими лапами завширшки 270 мм для обробітку ґрунту на глибину до 30 см і розпушувальними лапами завширшки 70 мм для обробітку ґрунту на глибину до 45 см. Стрілчасті лапи добре підрізають бур'яни, а розпушувальні — посилюють водопроникність і протиерозійну стійкість ґрунту. Розпушувальні лапи розміщують на відстані 40 см за глибини обробітку до 20 см, і на відстані 50 см — за глибшого, ніж 20 см. Чизельний плуг можна використовувати і для щілювання ґрунту. В цьому разі розпушувальні лапи встановлюють на ширину 80 – 100 см.

Конструкція рами чизельних плугів ПЧ-4,5 і ПЧ-2,5 дає змогу начіплювати змінні пристрої— відповідно ПСТ-4,5 і ПСТ-2,5, призначені для додаткового розпушування верхнього шару ґрунту, вирівнювання поверхні й часткового подрібнення високостеблових рослинних решток. Вони найефективніші на весняних роботах, а також восени за основного обробітку ґрунту під озимі зернові культури. Ці пристрої можна застосовувати під час роботи чизельних плугів по стерні після збирання різних культур, у тім числі по стерні високостеблових культур після попереднього лущення дисковими знаряддями.

Чизелювання з безполицеворозпушувальними лапами зберігає близько 60 % стерні, сприяє затриманню води, запобігає водній та вітровій ерозіям. Особливо ефективне воно під кукурудзу, соняшник, чорний пар та озиму пшеницю. Застосовують чизелювання при переорюванні змитих ґрунтів, для зниження щільності та окультурення підорного шару, а на ґрунтах з поверхневим перезволоженням — для відведення вологи в нижні шари.

Універсальним знаряддям у системі ґрунтозахисного обробітку є плуг «Параплау», який розпушує ґрунт на глибину до 40 см, але не перемішує його, не ущільнює підорний горизонт, не створює гребенів на поверхні поля. Він успішно працює на різних за гранулометричним складом ґрунтах і в широкому інтервалі їх вологості, на по-

лях з великою масою післяжнивних решток і на луках. Оброблені цим плугом ґрунти мають добру водопроникність і навесні висихають на 4 – 6 днів раніше, ніж після оранки з перевертанням скиби.

Культиватори-плоскорізи-глибокорозпушувачі КПГ-250А, ПГ-3-5, ГУН-4, ПГ-3, КПГ-2-150, КПГ-2,2, КПШ-9 та інші призначені для обробітку ґрунту на глибину 20 – 30 см. Обробіток ґрунту плоскорізними знаряддями ефективний за посушливих умов на ґрунтах легкого гранулометричного складу та на полях, які зазнають переважно вітрової ерозії.

Щілинорізами ЩП-3-70, ЩП-2-140 щілюють зяб, що зменшує змив ґрунту у 2 – 3 рази, сприяє додатковому накопиченню вологи і значно підвищує врожайність сільськогосподарських культур. Щілювання проводять упоперек схилу на глибину 60 – 70 см. На слабкозмитих ґрунтах щілини нарізають через кожні 12 – 15 м, на середньозмитих — через 8 – 10 м, на сильнозмитих — через 3 – 4 м. Нарізають щілини також на посівах озимих культур, багаторічних трав і на пасовищах.

Дисковий ямкоутворювач ЛОД-10 та пристосування ПЛДГ-5, ПЛДГ-10 до лущильників ЛДГ-5, ЛДГ-10 призначені для проведення ямкування і переривчастого борознування зябу на складних схилах, що запобігає змиванню ґрунту. Ці види робіт можна виконувати і після пізньоосінньої оранки за допомогою пристрою ППЕ-10, який прикріплюють до культиватора КПГ-4 або КРН-4.

Ямкування доцільно застосовувати на схилах до 5°, а переривчасте борознування — на стрімкіших схилах.

Культиватори КПС-4 і КПЕ-3,8 використовують в агрегаті із зубовими боронами для вирівнювання поверхні та передпосівної культивації ґрунту. Комбінованим ґрунтообробним агрегатом АПК-2,5 за один прохід можна підготувати ґрунт для сівби озимих та інших культур. Стерньовою сівалкою СЗС-2,1 за один прохід виконують культивацію, внесення мінеральних добрив, сівбу та післяпосівне коткування, що запобігає висушуванню ґрунту та забезпечує дружні сходи озимих, кращий їх розвиток восени порівняно з оранкою, після якої ґрунт пересихає більше.

10.20. Застосування структуротворних та захисних стабілізаційних синтетичних препаратів

Поряд з агротехнічними та агролісомеліоративними застосовують і хімічні заходи боротьби з ерозією, які поліпшують структурно-агрегатний стан ґрунтів, підвищують їх стійкість до ерозії.

Процес структуротворення зводиться в основному до того, що окремі гранули ґрунту та групи його часточок вкриваються колоїд-

ними плівками, які сприяють їх послідовному склеюванню в комплекси. Дуже велике значення в цьому мають органічні колоїди, особливо розчинний гумус. Підвищену клеючу здатність мають органічні речовини типу гумінової та ульмінової кислот, які утворюють водотривкі пористі грудочки агрономічно цінної структури.

Структуроутворення потребують насамперед щільні суглинкові та глинисті ґрунти. Для створення й відновлення агрономічно цінної структури застосовують:

- посів багаторічних трав;
- обробіток ґрунту у фізично стиглому стані;
- вапнування кислих ґрунтів, гіпсування солонців і солонцюватих ґрунтів;
- внесення органічних і мінеральних добрив;
- додавання до ґрунту невеликої кількості структуроутворювальних речовин, які поліпшують водостійкість його структури.

Для створення водостійкої структури використовують синтетичні латекси, бітумні емульсії, відходи нафтової промисловості, високомолекулярні сполуки — полімери та співполімери, які складаються в основному з похідних акрилової, метакрилової та малеїнової кислот (криліуми).

Криліуми можна вносити в сухому або рідкому (краще) стані, в ґрунті вони перетворюються на нерозчинні полімери.

Більшість криліумів істотно поліпшує водостійкість структури ґрунту в разі внесення їх у кількості 0,05 – 0,10 % маси ґрунту. Широкого застосування криліуми не набули через високу їх вартість. Дедалі частіше застосовують латекси у чистому вигляді або в сумішах з емульсіями мінеральних масел, а також відходи, які містять лігнін, наприклад сульфатно-спиртову барду, сульфатно-бардовий концентрат, лігносульфати кальцію та амонію.

Структурно-агрегатні властивості ґрунту поліпшуються в разі внесення в ґрунт негашеного вапна та сульфату заліза(III) в кількості 1,4 – 3 % маси сухого ґрунту за співвідношення 1,8…2 : 1.

Ефективні також такі синтетичні препарати:

- К-4-співполімер поліакриламіду та гідролізованого поліакрилонітрилу — високов'яжучий водний розчин концентрацією 8 – 10 %; перед внесенням у ґрунт препарат розбавляють водою до потрібної концентрації (0,05, 0,10, 0,20 % маси ґрунту), в разі його застосування (0,10 %) зберігається понад 60 % водостійких агрегатів (> 0,25 мм) протягом трьох років;
- поліакриламід (ПАА) в дозі 500 кг/га сприяє збільшенню на 50 % кількості водостійких агрегатів у безструктурному дерново-підзолистому ґрунті; його ґрунтозміцнювальна дія триває 2 – 3 роки; найдоцільніше поліакриламід застосовувати в дозі 0,045 % маси ґрунту на дерново-підзолистих ґрунтах важкого гранулометричного складу;

♦ дивініл-стирольний латекс марки СКС-50Г виявляє найвищу ґрунтозакріплювальну ефективність; максимальна водостійкість часточок ґрунту спостерігається в разі застосування латексу та емульсії вазелінового масла у співвідношенні 1 : 9.

Високу ґрунтозахисну дію хімічні препарати виявляють на ерозійно небезпечних ґрунтах. Застосування цих препаратів слід поєднувати з іншими ґрунтозахисними заходами, наприклад із залуженням. Значна протиерозійна ефективність на схилових ґрунтах забезпечується поєднанням залуження та закріплення поверхні ґрунту поліакриламідом чи латексом після висівання багаторічних трав.

Запитання для самоконтролю

1. За якими основними напрямами і чинниками визначають потребу застосування мінімального обробітку ґрунту? **2.** За якими показниками проводять екологічну оцінку технологій обробітку ґрунту? **3.** Назвіть основні шляхи збільшення вмісту органічної речовини в ґрунті. **4.** Схарактеризуйте основні чинники ефективності гуміфікації. **5.** Перелічіть основні агрохімічні показники та наведіть агроекологічні властивості біогумусу. В чому полягає ефективність його застосування? **6.** Які основні завдання системи удобрення? **7.** Вкажіть прийоми, способи та строки застосування добрив. **8.** Від чого залежить інтенсивність засвоєння поживних речовин рослинами? **9.** Які чинники впливають на оптимізацію живлення рослин? **10.** Схарактеризуйте види, значення, основні способи, технологію, показники та ефективність хімічної меліорації ґрунтів. **11.** Назвіть види й основні заходи щодо запобігання процесам ерозії ґрунтів. **12.** Які основні ланки контурно-меліоративної системи землеробства? Перелічіть еколого-технологічні групи орних ґрунтів. **13.** Що передбачає система заходів проти посухи, суховіїв та ерозії ґрунтів? **14.** Схарактеризуйте групи захисних лісових насаджень та їх вплив на режим агроекосистеми. **15.** Які ґрунтозахисні системи та заходи використовують для обробітку ґрунту? **16.** Які хімічні препарати застосовують на ерозійно небезпечних ґрунтах?





Розділ 11

БІОТИЧНІ ВІДНОСИНИ В АГРОЕКОСИСТЕМІ

Створені людиною штучні рослинні угруповання (агрофітоценози) складаються з певних видів рослин і є сталими елементами агроекосистеми; людина дбає про їх домінуюче положення. Агрофітоценоз характеризується певними рослинними угрупованнями та структурою посівів, взаємовідносинами особин одна з одною та з навколишнім середовищем.

Від природних угруповань агрофітоценоз різниться цілеспрямованим посівом домінантних рослин, недовговічністю існування угруповання та відсутністю здатності до поновлення. Цим визначається вразливість агроекосистеми шкідливими організмами, тобто агрофітоценози порушують захисні функції екосистеми і потребують обов'язкового втручання людини для захисту культурних рослин від бур'янів, хвороб, шкідників. Бур'яни — супутники культурних рослин, другий автотрофний компонент агрофітоценозу й один з найшкідливіших організмів. Тому між особинами різних видів існує конкуренція за основні чинники життя — світло, воду, поживні речовини та складаються певні взаємовідносини між ними й навколишнім середовищем, тобто встановлюється міжвидова конкуренція.

Конкурентоспроможність видів у агроекосистемі змінюється залежно від умов зростання та догляду за ними. Забезпеченням оптимальних умов для культурних рослин ми підвищуємо їх конкурен-

тоспроможність, тому агротехнічними заходами фактично регулюють умови співжиття культурних рослин і бур'янів.

Забур'яненість полів, пошкодження культурних рослин шкідниками й ураження хворобами призводять до різкого зниження врожайності сільськогосподарських культур, якості продукції, що завдає величезних збитків виробникам сільськогосподарської продукції. Аби запобігти цьому, вдаються до різних засобів захисту культурних рослин, серед яких найефективнішими є вирощування стійких до хвороб і шкідників сортів (гібридів) та вжиття організаційно-технологічних заходів.

11.1. Сорт (гібрид) як чинник конкурентоспроможності рослин

Сорт (гібрид) — важливий чинник конкурентоспроможності рослин, його значення не менше, ніж агротехнічних заходів вирощування сільськогосподарських культур. Сорт — це біотип, оскільки може різнитися від іншого тривалістю фаз вегетації або міжфазних періодів, відношенням до умов проходження стадії яровизації, стійкістю до вилягання, посухи, зимо- і морозостійкістю, придатністю до застосування механічного догляду. Так, виведено сорти зернових культур із коротким і міцним стеблом, які не вилягають, — озима пшениця Одеська напівкарликова, Харківська 61, Харківська 90, ячмінь Перелом, досить морозостійке, що добре витримує льодяну кірку, озиме жито Інтенсивне 90; озимі сорти пшениці, жита, ячменю з короткотривалою стадією яровизації, що важливо для строків осінньої сівби.

Екологічні й біологічні особливості сорту треба враховувати при розробці сортової технології вирощування культур, де потенціал продуктивності сорту реалізується найповніше.

Сорти і гібриди є важливим чинником захисту посівів від шкідників, хвороб і частково від бур'янів. Селекціонери застосовують різні методи виведення нових сортів (гібридів) у цьому напрямі (схрещування культурних рослин із дикими формами, молекулярну біологію, генну інженерію), які дають змогу отримати сорти рослин, стійких до пошкодження окремими чи кількома шкідниками, різними листоїдами, блішками, кореневими гнилями, фітофторою, пероноспорозом, іншими хворобами. Виведено гібрид кукурудзи, який не пошкоджується стебловим метеликом, сорт люпину, стійкий до фузаріозного в'янення, гібрид цукрових буряків ЛВМЗ-31, стійкий до коренеїда і церкоспорозу, сорт пшениці з опушеними листками, що перешкоджає п'явиці хлібній відкладати яйця. Є гібриди цукрових буряків, що характеризуються високими темпами наростання

наземної та кореневої маси, що дає змогу значно знизити уражуваність рослин переноспорозом, кореневими гнилями; сорти гороху, які практично не уражуються бурою іржею, плямистостями, аскохітозом.

Велике значення має сорт у разі застосування полікультурних посівів, де використовують різні їх конструкції — змішані, ущільнені, сумісні, підсівні. Полікультурні посіви сприяють кращому росту рослин у суміші, отриманню кормів із більшим вмістом протеїну; при заготівлі кормів із суміші компонентів з різним вегетаційним періодом поліпшується якість силосу; такі посіви практично не вилягають. Це суміш вівса з ярою викою, гороху з ячменем, кукурудзи із соєю (буркуном, озимою редькою), суміш гібридів кукурудзи з різними вегетаційними періодами при вирощуванні на силос. У полікультурах не виявляється ґрунтовтома.

Посіви сумішей гібридів, сортів або гібридів і сортів однієї культури називають *блендами* (пірамідами). Формувати бленди досить легко. Основними принципами є: агрокліматична відповідність сортів, що залучаються до ценозів, їх адаптаційно різнобічна реакція-відповідь певним умовам поля; достатній рівень гетерогенності агробіологічних параметрів і властивостей сортів у поєднанні з їх біологічною й технологічною сумісністю; технологічна простота формування, вирощування, збирання сумісних посівів, їх агроенергоекономічна доцільність та ефективність.

Для озимої пшениці головний компонент висівають у нормі 75 % оптимальної для чистого посіву, а доповнювальний (більш високорослий) — 50 %. У разі застосування трикомпонентної суміші два доповнювальні компоненти домішують у нормі по 25 % повної. Збільшення загальної норми висіву на 25 % є одним із обґрунтованих принципів їх формування.

Отриманий таким способом багатоярусний міжсортовий агрофітоценоз дає змогу найповніше реалізувати фотометричний потенціал та ФАР, створити стійкі до хвороб (на 8 – 24 %) та вилягання (на 2 – 3 бали) посіви, зменшити пестицидне навантаження, підвищити врожайність та якість зерна.

Добір сортів і гібридів сільськогосподарських культур є також альтернативою застосування хімічних регуляторів росту (інгібіторів, ретардантів, дефоліантів, десикантів) — це ранньостиглі та стійкі до вилягання сорти злакових культур і соняшнику. Для ефективного захисту рослин у сівозміні треба спрогнозувати видовий склад шкідників, хвороб і бур'янів. Це дасть змогу використати у посівах певний сорт, намітити реальні заходи захисту рослин, максимально знизити застосування хімічних речовин, поліпшити екологічну ситуацію середовища.

За даними Всесвітньої організації продовольства, в 2010 р. весь приріст виробництва продукції рослинництва буде досягнуто за рахунок нових сортів (гібридів).

Для цього розробляється концепція «адаптивного рослинництва» як один із варіантів компромісного землеробства. Адаптивне рослинництво ґрунтується на використанні сортів (гібридів) нового типу та застосуванні невеликої кількості мінеральних добрив. Адаптивний сорт (гібрид) має відповідати таким характеристикам:

- різнитися великою екологічною пластичністю, давати врожай за широкої амплітуди змінюваних умов;
- різнитися швидкостиглістю;
- мати високі конкурентоздатність щодо бур'янів, стійкість до хвороб і шкідників;
- давати високий господарський урожай — насіння, бульби тощо;
- реагувати на поліпшення умов вирощування;
- бути придатним для вирощування в суміші з іншими культурами.

Сучасне рослинництво таких сортів (гібридів) поки що не має, але в цьому напрямі ведуться дослідження, зокрема щодо створення трансгенних — генетично модифікованих рослин (ГМР) із залученням біотехнології. Ця наука знаходиться на стику біології, біохімії, мікробіології, генетики, генної інженерії та інших і нині дуже обнадійлива стосовно створення нових сортів (гібридів) із заданими характеристиками. Однак слід зазначити, що тут є й певні ризики, оскільки недостатньо вивчена дія такої продукції на організм людини та поведінка ГМР у навколишньому середовищі.

11.2. Організаційно-технологічні заходи регулювання біотичних відносин в агроекосистемі

Організаційно-технологічні заходи спрямовані на максимальне використання біогенетичного потенціалу культурних рослин агроекосистеми та отримання високих урожаїв біологічно повноцінної продукції. Вжиття цих заходів великою мірою впливає на біотичні взаємовідносини в агроекосистемі. До них належать: структура посівних площ, сівозміна, обробіток ґрунту, удобрення, хімічні меліорації, строки сівби, очищення насіння та норми його висіву, строки збирання врожаю.

Структура посівних площ. Структура (співвідношення) посівних площ основних груп польових культур — зернових, технічних, кормових для різних ґрунтово-кліматичних зон різна. Вона визначає основний напрям спеціалізації рослинництва і має бути економічно, агрономічно й екологічно обґрунтованою. У Лісостепу та Сте-

пу посіви зернових культур займають 55 – 60 % площ, технічних — 15 – 20, кормових — 25 – 30 %, на Поліссі — відповідно 45 – 50, 5 – 6 і 45 – 50 %. Такі співвідношення площ під культурами поряд із раціональним використанням ґрунтів, природно-кліматичного потенціалу регіону рослинами забезпечують екологічно стійкі агроландшафти, на яких можна отримувати високі врожаї екологічно безпечної продукції сільськогосподарських культур. Ці співвідношення можуть дещо змінюватись залежно від спеціалізації господарства та за рахунок введення в посіви нових культур (соя, амарант, східний козлятник, суданська трава тощо).

Дотримання впорядкованої структури посівних площ поряд з освоєнням сівозмін різко обмежують розмноження патогенних організмів.

Сівозміна. Сівозміна є провідною ланкою зональної системи землеробства та ефективним агробіотичним чинником, який у рослинництві слід використовувати максимально. Чергування культур у просторі й часі забезпечує сприятливіші умови для росту та розвитку рослин, підвищення врожайності, якості врожаю без додаткових витрат на різні меліоративні заходи, добрива, засоби захисту рослин від шкідливих організмів. Науково обґрунтоване чергування культур у сівозміні формує специфічні біотичні відносини в агрофітоценозах і сприяє ефективній боротьбі з бур'янами, хворобами, шкідниками. Чергуванням культур упродовж ротації на одному й тому самому полі створюють оптимальні умови росту й розвитку культурних рослин та умови, що порушують зв'язок ентомофагів і фітофагів, окремих видів грибів і бактерій, змінюють склад мікроорганізмів.

Посіви бобових і злакових культур у чистому вигляді або в суміші запобігають ґрунтовтомі, накопиченню в ґрунті різних токсинів за рахунок специфічних кореневих виділень рослин, сприяють розвитку корисних ендомікоризних, мікоризних грибів. Їх узагальнена назва — *везикулярно-арбускулярна мікориза* (ВАМ). Мікориза активує симбіотичну азотфіксацію рослинами, надходження фосфору в рослини.

В разі вирощування у сівозміні рослин-фітомеліорантів — буркуну, люцерни на солонцюватих, осолоділих ґрунтах значно поліпшується біологічна активність ґрунту.

Сівозміна є також одним із основних чинників у рослинництві, використання якого дає змогу значно скоротити внесення мінеральних добрив та пестицидів, які з екологічного погляду не завжди виправдані. За дотримання сівозмін, добору кращих попередників та стійких сортів рослин вдається значно зменшити кількість патогенів, зберегти вологу й поживні речовини в ґрунті.

Для розробки комплексної системи боротьби з бур'янами у сівозміні потрібні вірогідні дані щодо видового і кількісного складу

бур'янів на кожному полі (потенційні запаси насіння бур'янів у орному шарі ґрунту, забур'яненість посівів після повних сходів культурних рослин і перед збиранням їх урожаю).

У сівозмінах важлива роль відводиться проміжним посівам, які здатні знизити забур'яненість наступної культури на 30 – 40 %.

Для більшості сільськогосподарських культур встановлено період повернення їх у сівозміні на попереднє поле, дотримання якого запобігає нагромадженню шкідників і збудників хвороб у ґрунті. Для зернових культур він становить 2 – 3 роки, цукрових буряків — 5 – 6, соняшнику — 8 – 10, льону, люпину — 6 – 7 років. За цей період під впливом розвитку корисної мікрофлори ґрунт оздоровлюється.

Сівозміна дає змогу забезпечити культури кращим попередником, що не має спільних хвороб і шкідників, віддалити їх у часі, забезпечити просторову ізоляцію посівів. Цього досягають багатопільними (8 – 12 полів) сівозмінами, де повніше використовуються можливості плодозміни.

На сьогодні закріплення земель, земельних ділянок за орендарями, фермерами та іншими об'єктами господарювання може призвести до дроблення земель. Цього слід уникати, оскільки різко збільшується кількість повторних посівів, що спричинює їх монокультурне використання. Фітосанітарна ситуація на цих землях може дуже швидко погіршитись, що зумовить необхідність застосування великої кількості хімічних засобів захисту рослин. Для цих земель потрібно розробляти обґрунтоване чергування культур, виходячи з природних умов і спеціалізації.

У сівозміні різко зростає значущість мікробіологічного чинника, що є дуже істотним. Мікроорганізми поліфункціональні; беручи участь у реакціях, вони виконують стабілізаційну функцію метаболічної рівноваги у біоценозах. Через велику поверхню контакту із середовищем існування мікробіота досить чутлива до довколишніх умов, а висока швидкість розмноження уможливлює виявлення у короткий термін змін, що стаються під впливом тих чи інших екологічних чинників.

Обробіток ґрунту. Цей захід є екологічно найбезпечнішим, найдоступнішим і спрямований на зведення до мінімуму забур'яненості посіву й пошкодження рослин хворобами та шкідниками. Це насамперед осінній і весняний основні обробітки, до- і післясходові боронування, досходові шарування, міжрядні обробітки широкорядних посівів.

Зо допомогою *осіннього обробітку* в ґрунт заробляють стерню, дернину, добрива, вапно ліквідують підвищену забур'яненість полів, ефективно проводять боротьбу зі збудниками хвороб і шкідниками культурних рослин.

Після збирання врожаю культур суцільного посіву стерню *лущать*. При цьому підрізаються бур'яни, заробляється в ґрунт їх насіння і створюються сприятливі умови для його проростання. Подрібнення кореневищ пирію і свинорію стимулює їх проростання і виснажує запасні поживні речовини.

До- і *післясходове боронування* застосовують для знищення бур'янів у посівах буряків, картоплі, кукурудзи, соняшнику, сої, гороху. Боронування посівів здійснюють у фазі розвитку бур'янів «біла ниточка»; своєчасний обробіток в 1 – 2 сліди дуже ефективний. Проведення цього заходу після сходів бур'янів не дає бажаних результатів. Боронування не тільки ефективне в боротьбі з бур'янами, а й запобігає випаровуванню вологи, сприяє посиленому росту рослин.

Основним завданням *міжрядних розпушувань* є боротьба з бур'янами, підрізання їх у міжряддях, присипання та підгортання у захисних смугах.

Міжрядний обробіток можна проводити і до появи сходів — по рядках маячних культур або щілинах-орієнтирах, нарізаних під час сівби. Для боротьби зі зміцнілими сходами бур'янів міжрядні обробітки поєднують із присипанням ґрунтом захисних смуг і підгортанням рослин (кукурудза, соя, соняшник, картопля, цукрові буряки).

Міжрядні культивації розпушують ґрунт, поліпшують його водно-повітряний режим, вирівнюють поверхню поля, прискорюють прогрівання ґрунту навесні, посилюють мікробіологічну діяльність і створюють сприятливі умови для накопичення поживних речовин.

Удобрення. Застосування органо-мінеральної системи удобрення сільськогосподарських культур забезпечує отримання високих урожаїв, сприяє підвищенню якості отримуваної продукції і родючості ґрунту. На 1 га ріллі сівозмінної площі слід вносити не менш як 12 – 16 т гною, що повною мірою забезпечує рослини основними елементами живлення. Крім гною цінними органічними добривами є: компост, пташиний послід, ставковий мул, озерний сапропель, вермикомпости, які збагачують ґрунт на гриби, бактерії, водорості та інші корисні компоненти і надають йому біологічної активності. Поєднання органічних і мінеральних добрив сприяє кращому росту і розвитку не тільки культурних рослин, а й бур'янів, які здатні виносити з поля до 200 кг/га азоту, фосфору і калію. Бур'яни сприяють розвитку й поширенню хвороб і шкідників сільськогосподарських культур, тому посіви слід захищати.

Удобрення культур також значно підвищує стійкість рослин до грибних хвороб, особливо ураження ними продукції під час зберігання.

Хімічні меліорації. Вапнування і гіпсування ґрунту в поєднанні з внесенням органічних добрив дає змогу оптимізувати реакцію ґрунтового розчину, наблизити її до нейтральної, що сприяє підви-

щенню ефективності добрив і агротехнічних заходів вирощування сільськогосподарських культур.

Різні рослини по-різному реагують на реакцію ґрунтового розчину. За pH 5,8 – 6,0 добре ростуть жито, овес, ячмінь, горох, льон, картопля, злакові багаторічні трави. Такі культури, як кукурудза, пшениця, озимий ячмінь, баштанні, люцерна добре ростуть на ґрунтах із реакцією ґрунтового розчину близькою до нейтральної чи нейтральною (pH 7,0). Для еспарцету кращими є слабколужні (pH 7,2) ґрунти.

За оптимальних умов ґрунтового розчину культурні рослини краще ростуть і розвиваються, підвищується їх стійкість до шкідливих організмів.

Внесення вапна на кислих ґрунтах значно пригнічує ріст таких бур'янів, як повитиця, щавель горобиний, хвощ польовий. Крім того, вапнування різко змінює співвідношення окремих груп мікроорганізмів ґрунту й активує діяльність деяких їх видів, які мають важливе значення для поліпшення родючості ґрунту.

Гіпсуванням солонцюватих ґрунтів поліпшують фізичні властивості ґрунту й нейтралізують лужну реакцію, пригнічують діяльність анаеробів, які редукують сульфати, нормалізують ґрунтову мікрофлору.

Строки сівби. Для більшості сільськогосподарських культур велике значення має дотримання строків їх сівби. Культури поділяють на *озимі* (озимі жито, пшениця, ячмінь), *ярі* (ярі пшениця, ячмінь, овес, картопля, буряки) та *літні* (однорічні трави, злакові багаторічні трави, хрестоцвіті). Водночас такі культури, як злакові багаторічні трави, люцерна, ріпак, однорічні трави, кукурудза на зелений корм, можна висівати в різні строки — ранньовесняні, літні, літньо-осінні. Від строків посіву залежать ріст і розвиток рослин, засміченість посівів бур'янами, ураженість хворобами і шкідниками.

Озимі культури, висіяні в ранні строки, формують занадто велику масу восени і значно пошкоджуються шкідниками та хворобами. Це саме стосується також і пізніх строків сівби ранніх ярих культур, які піддаються більшому ураженню порівняно з культурами, висіяними в оптимальні строки.

Норми висіву. Оскільки в агрофітоценозі як правило вирощується одна культура й умови для її зростання переважно одноманітні (обробіток ґрунту, добрива, догляд), всі особини здатні однаково поглинати сонячну енергію, воду, мінеральні елементи, тому за таких умов надзвичайне значення має внутрішньовидова конкуренція. Конкуренцію в агрофітоценозі регулюють за допомогою норм висіву. Площа живлення залежить від виду рослин, причому в сільськогосподарських культур та їхніх супутників — бур'янів вироби-

лась здатність успішно зростати в густіших травостоях, ніж рослини природного фітоценозу. За догляду з поліпшенням умов вирощування підвищується стійкість рослин і водночас їх вплив одна на одну, що призводить до конкуренції та пригнічення слабких особин. На початковому етапі росту і розвитку рослини конкурують переважно за воду та елементи живлення, тому в цей період пригнічуються рослини зі слабкорозвиненою кореневою системою. З наростанням надземної фітомаси посилюється конкуренція за світло.

Зі збільшенням норми висіву насіння зростає кількість рослин на одиниці площі, але водночас зменшується їх стійкість, тому максимальний урожай формується за певної (оптимальної) кількості рослин на одиниці площі. Для різних сільськогосподарських культур ця величина різна.

Оптимальна густота рослин сприяє утворенню оптимальної площі листкової поверхні. Для різних культур і сортів вона неоднакова. Мала площа асиміляційної поверхні зменшує продуктивність фотосинтезу, призводить до небажаного підвищення температури ґрунту і повітря в посівах, інтенсивного росту бур'янів. Водночас надмірна площа листків спричинює значні витрати вологи та поживних речовин на створення листкової маси, затінення листків у нижніх ярусах, вони не беруть участі у фотосинтезі, внаслідок чого знижується врожай сільськогосподарських культур. Оптимальна площа листкової поверхні посівів агрофітоценозу — 40 – 60 тис. $м^2$/га, де показники чистої продуктивності фотосинтезу (ЧПФ) становлять 3 – 6 г/$м^2$ сухої речовини за 1 добу. Така площа листків та ЧПФ забезпечуються густотою стеблостою залежно від сорту (гібриду) для жита, пшениці, ячменю — 4 – 7 млн генеративних стебел на 1 га; гороху — 1 – 1,2; сої — 0,6 – 0,8; кукурудзи на зерно — 60 – 80 тис. стебел на 1 га, на силос — 80 – 100; цукрових буряків — 90 – 110; картоплі — 50 – 70, соняшнику — 60 – 80 тис. рослин на 1 га.

У посівах, призначених на зелений корм, листкову поверхню треба збільшувати, оскільки листки — найцінніша частина рослини. В загущених посівах кормових культур маса листків і площа листкової поверхні за достатнього живлення значно збільшуються.

Для забезпечення запланованої густоти рослин враховують посівну придатність насіння — чистоту посівного матеріалу, лабораторну і польову схожість.

Очищенням насіннєвого матеріалу сільськогосподарських культур усувають його механічну засміченість насінням бур'янів, запобігають ураженості хворобами та шкідниками, це один з ефективних агротехнічних заходів. Домішки насіння бур'янів та ворох мають підвищену вологість, що призводить до саморозігрівання зерна, тому відразу після обмолочення зернову масу обов'язково очи-

щують. Процес очищення має бути високоякісним, щоб в 1 кг насіння пшениці, жита, ячменю, вівса залишалось не більш як 5 шт. насінин бур'янів і зовсім не було насіння карантинних бур'янів. Особливу увагу слід приділяти очищенню зерна від насіння специфічних бур'янів: конюшини і люцерни — від повитиці, проса — від плоскухи та мишію, ярої пшениці і гречки — від насіння дикої редьки, вівса — від вівсюга та ін.

Строки збирання врожаю. На взаємовідносини біоорганізмів у агрофітоценозі впливають своєчасне збирання врожаю та очищення поля від післяжнивних решток. Періодом збирання визначають розмноження шкідників і збудників хвороб, формування фітосанітарного стану посівів та втрат урожаю.

Раннє збирання врожаю порушує й ускладнює завершення життєвого циклу розвитку багатьох видів бур'янів і особливо шкідників, які живляться і розвиваються за рахунок генеративних органів рослин — пуп'янків, квіток, насіння. Ранні строки збирання значно знижують ушкодженість зернових культур хлібними жуками, трипсами, черепашкою, а посівів кукурудзи — стебловим і кукурудзяним метеликами.

Скорочення періоду збирання врожаю зернових культур знижує втрати врожаю від фузаріозу, плісеневих грибів, кореневих і стеблових гнилей, запобігає ферментативно-мікозному стіканню зерна.

Запізнення зі збиранням врожаю призводить до інтенсивного інфікування насіння фітопатогенними грибами і бактеріями, втрати схожості.

Післязбиральні рештки, що тривалий час залишаються незаробленими в ґрунт, є резервацією злакових мух, іржі, борошнистої роси, кормом для мишовидних гризунів. Більшість шкідників і збудників хвороб, що паразитують на тій чи іншій культурі, перезимовують на рослинних рештках чи в ґрунті, а навесні вони знову здатні уражувати рослини, які висівають на цьому полі. Це може спричинити масові захворювання рослин.

Спеціальні заходи керування популяціями шкідливих організмів в агроценозах передбачають застосування на посівах сільськогосподарських культур хімічних і біологічних препаратів. Ушкодження посівів шкідниками, хворобами, висока їх забур'яненість є реакцією природи з метою стабілізації становища і збереження динамічної рівноваги.

Нині в Україні застосовують високоефективні пестициди. Їх вносять малими дозами, але це не означає, що екологічна шкода від них зменшується. Після внесення хімічних препаратів на посівах виживають найбільш шкідливі, стійкі й агресивні види та популяції шкідливих організмів. Пестициди, які потрапляють у ґрунт, воду, на рослини, різко знижують розмноження корисної для культур ен-

томо- і фітофауни, їх розмноження вже не стимулюється природними механізмами, що призводить до знищення разом із шкідниками і їхніх природних ворогів.

Високий рівень засміченості полів бур'янами у найближчі роки не дасть змоги відмовитись від застосування хімічних засобів захисту рослин. Тому застосування гербіцидів — важлива ланка інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур, оскільки усуває процес трудомісткого ручного прополювання, зменшує затрати праці під час догляду за посівами.

Сьогодні існує потреба штучного врахування конкретних умов, створення чи порушення певних трофічних зв'язків у штучно створених фітоценозах. Цьому сприяє інтегрована система захисту рослин, за якої поряд із хімічними застосовують біологічні методи боротьби зі шкідниками з використанням природних ентомофагів. Регулюванням чисельності ентомофагів можна забезпечити зниження чисельності шкідливих комах до господарсько безпечного рівня.

Винищувальні обробки зернових колосових інсектицидами проти шкідливої черепашки і злакових попелиць виключають, якщо на 10 м^2 площі припадає не менш як шість особин ентомофагів. Зараженість ними яєць шкідливої черепашки становитиме близько 50 %, а в період масового яйцевідкладання — до 70 %. Шкідники, що відродяться, практично не впливатимуть на врожай пшениці.

Слід враховувати, що на необроблених інсектицидами полях хижі жужелиці знижують до 80 % личинок шкідливої черепашки, а на оброблених — удвічі менше.

Встановлено, що комплекс хижих комах утримує чисельність попелиць на господарсько безпечному рівні за співвідношення хижак : жертва на посівах пшениці — 1 : 35, ячменю — 1 : 20, вівса — 1 : 30. Використання критеріїв ефективної чисельності ентомофагів проти шкідливої черепашки і злакових попелиць виключає застосування інсектицидів на великих площах зернових культур.

Для зменшення чисельності шкідників у агрофітоценозі нижче економічного порогу шкодочинності діяльність природних популяцій буває недостатньою, тому часто потрібне штучне розведення і розселення ентомофагів. На посівах зернових культур проти лускокрилих, на чорних і зайнятих парах під посів озимих з ефектом 95 % застосовують трихограму.

Ефективним біологічним методом боротьби є використання вірусних і мікробіологічних препаратів, які нешкідливі для людини, навколишнього середовища, не накопичуються в урожаї. Це дендробацилін, бітоксибацилін, боверін, вірін, лепідоцид, дипел, батоспеїн та ін.

Питання біотичних відносин в агроекосистемі досить складні, і в конкретних умовах їх треба вирішувати лише на основі глибокого й

детального вивчення біології культурних рослин та шкідників, хвороб і бур'янів, їхніх можливих антагоністів, ворогів, яких багато серед рослин та в тваринному світі (комах, жуків тощо) і вміло використовувати на практиці.

Запитання для самоконтролю

1. За які основні чинники життя конкурують особини в агроекосистемі? **2.** Схарактеризуйте сорт (гібрид) як чинник конкурентоспроможності рослин. **3.** Як формують посіви-бленди (піраміди)? **4.** В чому полягає концепція «альтернативного землеробства»? **5.** Які прийоми належать до організаційно-технологічних заходів регулювання біотичних відносин в агроекосистемі? **6.** У чому полягає суть біологічного методу боротьби зі шкідливими організмами в агроекосистемі?





Розділ 12

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ АГРОЕКОСИСТЕМИ

12.1. Значення сівозміни як структурної основи агроекосистеми

Організація ведення галузі рослинництва на сівозмінних принципах ґрунтується на одному з основних законів землеробства — *законі плодозміни*, суть якого зводиться до потреби періодичної зміни різних у біологічному відношенні культур і послідовного їх чергування в сівозміні.

Необхідність впровадження сівозмін зумовлена комплексом чинників, які виявляються в процесі взаємодії рослин між собою та з ґрунтом. Їх поділяють на біологічні, хімічні і фізичні.

Численними дослідженнями встановлено, що монокультура більшості сільськогосподарських рослин закономірно призводить до загального падіння їх продуктивності.

Зміна місця посіву культур зменшує їх негативний вплив на родючість ґрунту та врожай внаслідок поліпшення фізико-хімічних властивостей ґрунту, водного й поживного режимів, мікробіологічної і ферментативної активності, зменшення шкідливості бур'янів, хвороб, шкідників.

Сівозміна — важливий біологічний та агроекологічний чинник рослинництва, зміст якого полягає в науково обґрунтованому щорічному або періодичному чергуванні культур (і пару) в часі на певній території по полях.

Сівозміни є складовими елементами систем землеробства, які розвивались і змінювались із розвитком промисловості та сільського господарства, в них відбивався ступінь інтенсивності використання землі, набір культур і засоби підвищення родючості ґрунту.

На початку XX ст. замість парової, вигінної, травопільної та інших екстенсивних систем землеробства почали впроваджувати досконаліші — *паро-зернову* і *плодозмінну*. Відповідно до природно-екологічних умов територію України поділяють на Степ, Лісостеп, Полісся, передгірну і гірську зони, для яких наполегливою працею вчених і спеціалістів створено певні системи землеробства.

На Поліссі на родючих ґрунтах переважає *плодозмінна система* землеробства. Зернові культури займають близько половини площ, а на решті — вирощують просапні (картопля, кукурудза та ін.), технічні (льон-довгунець) і бобові культури (конюшина, пелюшка (горох польовий), люпин). На бідних піщаних ґрунтах запроваджують сидеральну систему землеробства.

У Лісостепу основною системою землеробства є *зерно-просапна*, де більшу частину ріллі займають зернові і просапні культури (цукрові буряки, кукурудза та ін.), невеликі площі — багаторічні трави.

Для більш посушливих лісостепових і північних та центральних степових районів розроблено *зерно-паро-просапну систему* землеробства, в якій більшу частину ріллі займають зернові і просапні культури (кукурудза, соняшник, частково цукрові буряки) у поєднанні з чорним паром.

У дуже посушливих південних і південно-східних районах Степу найефективніші зерно-паро-просапна і зерно-парова системи землеробства, за яких зернові культури (озима пшениця) займають більшу частину ріллі, значні площі відводяться під чорний пар, невеликі площі — під просапні культури (кукурудза, сорго, просо, соняшник).

У зволожених передгірних і гірських районах Карпат на дуже еродованих землях впроваджують *травопільну систему* землеробства, де багаторічні трави займають значні площі. Висівають також зернові, на невеликих площах смугами вирощують просапні культури (кукурудза, картопля).

У результаті досліджень і узагальнення передового досвіду впроваджено у виробництво системи основних типів сівозмін: *польових, кормових, ґрунтозахисних, лукопасовищних, овочевих, спеціальних* та ін.

Системою сівозмін називають раціональне поєднання різних сівозмін у господарстві, спрямоване на продуктивне використання земель за найкращих економічних, екологічних та агротехнічних показників з урахуванням спеціалізації виробництва.

Тип сівозміни визначають залежно від сільськогосподарського виробництва, виходячи з місцевих ґрунтово-кліматичних умов. Під

типом сівозмін розуміють сівозміни різного виробничого призначення, які різняться за видом основної продукції, що виробляється.

12.2. Класифікація сівозмін

Залежно від співвідношення площ сільськогосподарських культур і пару для кожного типу встановлено види сівозмін.

Видом сівозміни називають сівозміну певного типу, що різниться набором зернових, просапних, технічних, кормових культур, пару, багаторічних трав та їх впливом на родючість ґрунту.

Польовими вважають *сівозміни*, в яких більш як половина площі відведена під зернові і технічні культури; в ринкових умовах на більшій частині вирощується товарна продукція. За видами вони можуть бути зерно-просапними, зерно-паровими, зерно-паро-просапними, плодозмінними, травопільними, сидеральними.

У *зерно-просапних сівозмінах* чергуються посіви зернових культур, що займають 50 – 60 % сівозмінної площі, з просапними культурами (35 – 45 %). Пар відсутній, на його місці висівають багаторічні й однорічні трави, зернобобові. Це основний вид польових сівозмін у Лісостепу і частково на Поліссі. Основна продукція — зерно, сировина цукрових буряків, льону-довгунця і корми.

У *зерно-парових сівозмінах* посіви зернових, що займають більшу частину посівної площі (60 – 70 %), чергуються з чорним (чистим) паром. Такі сівозміни застосовують у південних і південно-східних дуже посушливих районах Степу. Основна продукція цих сівозмін — зерно.

У *зерно-паро-просапних сівозмінах* посіви зернових культур, що займають 50 – 70 % площі, чергуються з чорним паром (6 – 10 %) і просапними культурами (30 – 40 % сівозмінної площі). Висівають також однорічні і багаторічні трави. Польові сівозміни цього виду мають значні площі в степових і південно-східних лісостепових районах. Основна продукція — зерно, соняшник, частково — цукрові буряки і корми.

Просапні сівозміни визначаються великими площами просапних культур (50 % і більше), які дають основну продукцію — сировину технічних, овочевих та інших культур, а також зерно і корми. В цих сівозмінах під багаторічними й однорічними травами — до 10 – 20 % площі. Польові просапні сівозміни займають невеликі площі в краще забезпечених вологою лісостепових районах, а також на зрошуваних і частково осушених землях.

До складу *плодозмінних сівозмін* як правило входять зернові (озимі, ярі), просапні і бобові культури, які без повторень правильно чергуються. Зернові тут займають до 50 % площі, просапні — 30 – 40, багаторічні трави — 10 – 15 %. Їх можна вважати різновидом

зерно-просапних сівозмін, тому що в «класично» витриманому вигляді плодозміни трапляються рідко навіть у Лісостепу і на Поліссі.

Травопільні сівозміни передбачають значні (20 – 70 %) площі посіву багаторічних бобових і злакових трав та їх сумішок 2 – 4-річного використання, посіви зернових на площі 30 – 50 %, просапних культур на площі 20 – 30 %. Можливі сівозміни без просапних культур і з чорним паром. Польові травопільні сівозміни в «класичному» визначенні з посівом сумішей багаторічних трав і розміщенням по скибі ярих культур трапляються рідко в поліських районах, на схилових еродованих землях передгірних і гірських районів Карпат, на зрошуваних і осушених землях.

У *сидеральних сівозмінах* на одному чи більшій кількості полів вирощують сидеральні культури для заробляння їх біомаси в ґрунт на добриво. Сидеральні культури вирощують у пару, в проміжних (післяукісних і післяжнивних) посівах. У таких сівозмінах зернові займають 40 – 50, просапні — 16 – 20 % площ. Сидеральні сівозміни впроваджують на бідних піщаних ґрунтах Полісся. Основна продукція — зерно (жито, овес), картопля і корми.

Кормовими вважають *сівозміни*, в яких більш як на половині площ вирощують кормові культури. Основне призначення цих сівозмін — забезпечення потреб тваринництва у грубих, соковитих і зелених кормах (сіно, сінаж, силос, кормові коренеплоди, зелена маса). За видом вони здебільшого травопільні з підсівом багаторічних трав), бувають траво-просапні. В цих сівозмінах в основному вирощують кукурудзу на силос і зелений корм, багаторічні й однорічні трави, коренеплоди, ячмінь та овес з підсівом трав.

Прифермські сівозміни розміщують поблизу тваринницьких ферм. На полях в основному вирощують культури, що забезпечують надходження зелених, соковитих кормів та заготівлю сіна, сінажу, силосу.

Лукопасовищні сівозміни часто вважають окремим типом, в них вирощують в основному багаторічні трави для випасання тварин, заготівлі сіна та інших видів кормів, однак їх можна віднести й до одного з видів кормових сівозмін.

Ґрунтозахисними називають *сівозміни*, в яких набір, розміщення і чергування культур забезпечують захист ґрунтів від ерозії. Вони здебільшого насичені багаторічними травами, мають кормовий напрям.

Овочеві сівозміни переважно насичені просапними овочевими культурами, можуть включати одне — два поля багаторічних бобових трав. Розміщують їх на найродючіших ґрунтах, які є в господарстві, вони мають забезпечувати високі врожаї та якість овочевої продукції.

У *спеціальних сівозмінах* вирощують рослини, які потребують спеціальних умов і агротехніки. Видова класифікація залежить від

культивованих у сівозміні культур — рис, тютюн, ефіроолійні, лікарські тощо.

Перелічені типи та види сівозмін розроблені науковцями з урахуванням зональних особливостей, розміру земельних площ, ґрунтових умов, спеціалізації великих сільськогосподарських підприємств за планової економіки. Сівозміни здебільшого передбачали вирощування різних видів сільськогосподарських культур і, відповідно, велику кількість полів: для зони Полісся — 7 – 8, для Лісостепу та Степу — 10 – 12. Впровадження таких сівозмін за дотримання технологічних вимог вирощування культур забезпечувало отримання високих урожаїв, збереження родючості ґрунтів і екологічної стабільності агрофітоценозів. Однак рівень впровадження науково обґрунтованих сівозмін в Україні невисокий, тому в землеробстві спостерігаються значні втрати як самого ґрунту — щорічно в межах 500 млн т, так і гумусу — 10 млн т. Зростає чисельність шкідливих організмів та кількість насіння бур'янів (кілька мільярдів насінин на 1 га ріллі), збільшується дефіцит продуктивної вологи, постають проблеми забруднення ґрунтів та сільськогосподарської продукції пестицидами, радіонуклідами, важкими металами. Особливо гострі екологічні проблеми з'явилися після аварії на ЧАЕС та з переходом до ринкової економіки в умовах тривалої економічної кризи. В ринкових умовах основним показником ефективності виробництва є прибуток. Відсутність державних дотацій та ефективної цінової політики призвели до різких змін у структурі сільськогосподарських угідь, посівних площ як в окремих регіонах, так і по країні загалом. Скорочується площа ріллі, в посівах домінують злакові зернові, насамперед пшениця, значно зменшились посівні площі бобових і технічних культур. Через значне зменшення поголів'я худоби в декілька разів знизились норми внесення органічних добрив. Зі 120 – 140 кг/га діючої речовини до 18 – 20 кг/га залежно від регіону скоротилось внесення мінеральних добрив. До загострення екологічних проблем призводить і відсутність чіткого й дієвого законодавства з охорони родючості ґрунтів, у тім числі стосовно сівозмін.

Для ринкових умов раніше розроблені статичні сівозміни з великою кількістю полів та культур виявилися малопридатними. Виникла потреба у динамічних сівозмінах з короткою ротацією, придатних до швидкого перепрофілювання. Безперечно, екологічні й агротехнологічні проблеми в таких сівозмінах загострюються. Для їх усунення потрібно вживати додаткових заходів, до яких належать: використання побічної продукції (солома, гичка тощо) як органічного добрива, насичення сівозмін сидеральними і фітосанітарними культурами за рахунок проміжних посівів, максимально можливе використання явища азотфіксації висіванням бобових та їх сумішей

з іншими культурами. Практика таких країн, як США (кукурудзяний, соєвий пояс вирощування цих культур у повторних посівах і навіть у монокультурі), Нідерланди (насичення до 100 % сівозмінної площі зернофуражними, кормовими культурами), засвідчує, що подібні види динамічних, з короткою ротацією сівозміни треба розробляти і впроваджувати в Україні. До таких видів належать сівозміни на присадибних ділянках, які набувають дедалі більшого поширення на приватизованих розпайованих землях.

12.3. Сорт як чинник підвищення продуктивності і стійкості агроекосистеми

Історія землеробства упродовж багатьох тисячоліть супроводжується добором потрібних людині типів рослин. Коли людина помітила, що врожай із кращих рослин, як правило, більший, вона почала відбирати для посіву насіння саме з таких. З тих пір бере початок селекція. Культурні рослини різняться за давниною виникнення. Так, із незапам'ятних часів вирощують ячмінь, чумизу, просо, льон, боби, цибулю та багато інших. Стародавніми культурами є рис, овес, соя, горох, кукурудза, соняшник, дині, кавуни. Американський довговолокнистий бавовник, томати, огірки, баклажани, деякі види капусти введені в культуру в епоху неоліту. Є рослини, історія яких налічує декілька століть і навіть десятиліть, — цукрові буряки, конюшина, тритикале та ін. Інтродукція нових видів дикорослих культур, створення і впровадження нових сортів — це постійний і безперервний процес. Сьогодні в світі налічується понад 5000 повністю окультурених видів сільськогосподарських рослин, однак широко використовують у виробництві близько 1500 видів, з яких важливе господарське значення мають лише 250.

У своєму розвитку селекція пройшла кілька етапів; примітивний — простий, неусвідомлений добір кращих рослин, насіння; емпіричний — селекція ґрунтувалась на простих методах добору рослин із кращими показниками. Накопичення важливих практичних результатів, отриманих штучним добором, сприяло швидкому й масовому розвитку селекції. Так зародилася народна селекція, на етапі якої було створено багато цінних місцевих сортів, які й досі використовуються у виробництві і є основою для створення сучасних сортів.

Розвиток капіталізму наприкінці XVIII — на початку XIX ст. в Західній Європі стимулював організацію сортового насінництва як прибуткової частини господарювання. Зростала зацікавленість у виведенні нових сортів, розпочався період цілеспрямованих селекційних робіт. З'явилися тисячі великих і малих селекційних та на-

сіннєвих фірм. Так зародилася промислова селекція. На цьому етапі селекціонери використовували досить прогресивні методи, але працювали, спираючись на попередній та набутий досвід, діяли за інтуїцією.

Теоретичною основою для розробки і становлення наукового етапу селекції стало еволюційне вчення англійського вченого Ч. Дарвіна та повернення в науковий світ у 1900 р. законів спадковості, сформульованих австрійським ученим Г. Менделем у 1865 р. До середини XIX ст. найпоширенішим методом був масовий добір, за якого насіння кращих рослин об'єднували і висівали разом. Згодом дедалі частіше почали використовувати індивідуальний добір з окремим висіванням насіння від кожної рослини. Із 1930-х років у селекційній практиці знайшов використання принцип *генетичної рекомбінації*. Поява нових комбінацій ознак у результаті схрещування в подальшому отримала назву *комбінаційної* (комбінативної) *мінливості*. Подальший розвиток селекції відбувався на основі використання різноманітних генетичних методів змін спадковості рослин, серед яких особливе місце належало методам гетерозисної селекції, поліплоїдії, гаплоїдії, генетичної інженерії, культури клітин і тканин.

Селекція — один із головних засобів прогресу в сучасному рослинництві. Дослідженнями, проведеними в Західній Європі, доведено, що внесок селекції (нові сорти, гібриди) за останні 25 років у приріст урожайності становить від 20 до 80 % залежно від культури.

Економічна ефективність селекційної роботи виявляється не тільки у виведенні поліпшеного сорту, який здатний давати вищий урожай за однакових затрат, а й у термінах його створення і впровадження у виробництво.

Дикі або штучно виведені форми культурних рослин можуть стати сортом тільки тоді, коли вони відповідають вимогам виробництва за рівнем продуктивності та якості продукції.

Отже, *сорт* — це саморегуляційна біологічна система рослин однієї культури одного походження, які подібні за господарсько-біологічними і морфологічними властивостями, що стабільно передаються наступним поколінням. Система сформована і розмножена для отримання високого врожаю доброї якості в результаті ефективного використання чинників зовнішнього середовища в разі вирощування за певних природних і виробничих умов.

Гібриди — це сорти, створені в результаті внутрішньовидової або віддаленої гібридизації, в яких використано ефект гетерозису (сплеску) продуктивності, особливо в першому поколінні (F_1); в наступних поколіннях продуктивність знижується, відбувається розщеплення, змінюються морфологічні ознаки. Широко використовують як для збільшення продуктивності, так і для захисту авторських прав на сорт.

Крім селекції стосовно продуктивності та якості у науковій селекції створюються нові сорти й гібриди, стійкі до хвороб, шкідників, з високими показниками посухо-, морозо- та зимостійкості, придатні для механізованого збирання. Створюють як пластичні сорти, здатні забезпечувати високу врожайність у різних природних зонах і займати великі площі, так і адаптивні, які найповніше використовують екологічні чинники даної місцевості.

Короткий період створення та швидке впровадження нових сортів дає змогу поліпшити використання природно-техногенних ресурсів. Сортозміна більшості культурних рослин нині значно прискорилась і відбувається через кожні 4 – 6 років. В агрофітоценозах здебільшого вирощують один сорт, який має свої сортові ознаки росту і розвитку, періоди вегетації, формування врожаю, відношення до екологічних чинників. На відміну від природних фітоценозів чисті сортові посіви мають певні характерні особливості, такі як тривалість вегетаційного періоду, використання сонячної енергії, просторове розміщення наземних та підземних органів, їх габітус, однобічне використання елементів живлення тощо, стійкість до несприятливих умов. Тому для якомога повнішого використання чинників життя відповідно до росту продуктивності та якості врожаю використовують багатосортові й багатолінійні популяції. До гетерогенних належать також змішані, сумісні та ущільнені посіви. Багатосортові й багатолінійні посіви досить часто використовують в одновидових посівах багаторічних трав, змішані — при вирощуванні кормових (суміші гороху з ячменем, вики й пелюшки з вівсом), сумісні — висівають у різних рядках або смугах окремих видів культур (жито з ріпаком на зелений корм, кукурудза з соєю), ущільнені — висівають суцільним способом або в рядки після посіву основної культури, для них передбачене одночасне або роздільне збирання (кукурудза, ущільнена люпином, соєю, буркуном; соняшник з тими самими культурами, кукурудза з гарбузами), підсівні — підсівання до основної культури насіння рослин, що забезпечують отримання додаткового урожаю, який формується в післязбиральний період (вико-вівсяні суміші з однорічною пажитницею, жито, підсіяне морквою тощо).

12.4. Оптимізація архітектоніки рослинного покриву

Рослини конкурують між собою за світло, вологу і поживні речовини. Залежно від виду, генотипу вони мають різні за масою та об'ємом кореневу систему, наземну біомасу, тому неоднаково використовують відведену їм площу живлення. Величина площі живлення рослин, крім об'єму ґрунту, який охоплює коренева система рослин, включає також певний наземний простір, що забезпечує

рослини чинниками фотосинтетичної діяльності. У посіві рослини розміщені на такій відстані, що їхні корені й надземні органи проникають під сусідні рослини. У зв'язку з цим розвиток рослин залежить не лише від забезпечення життєво необхідними екологічними чинниками (елементи живлення, світло, повітря тощо) безпосередньо їх, а й від сусідніх із ними рослин.

Рослини реагують на зміну їх густоти двома способами: випадають з посівів або пластично змінюють свої ріст та розвиток. Неоднаковий характер розвитку різних органів і частин рослин в органогенезі під впливом різної густоти є наслідком конкуренції між ними. Отже, зміною густоти посіву можна впливати на темпи розвитку рослин, їх морфологію, час закладання генеративних органів та цвітіння і залежно від біологічних властивостей рослин прискорювати чи сповільнювати їх розвиток. У загущених посівах рослинам не вистачає вологи та елементів живлення, особливо азоту.

Що стосується повітряно-світлового живлення, то зміна припливу та засвоєння променистої енергії сонця також залежить від площі живлення рослин й істотно впливає на розвиток надземної маси, швидкість формування і величину фотосинтетичного апарату, інтенсивність і тривалість його роботи. В агроекосистемах їх продуктивність визначається коефіцієнтом корисної дії ФАР, який у ценозах високоврожайних культур може сягати 5 – 7 %, за зрошення — до 10 %. В Україні він у середньому не перевищує 2 %, у кращих господарствах — 4 %. Як за елементи живлення, так і за сонячну енергію рослини ведуть постійну конкурентну боротьбу, що залежить від вертикального розподілу фотоелементів. Навіть за оптимального освітлення верхні листки рослин мають переваги порівняно із середніми і нижніми у використанні ФАР. Тому в одновидових, чистосортових посівах у разі їх загущення відбувається випадання рослин, вони витягуються у висоту і часто вилягають, у разі зрідження посівів значна частина площі залишається вільною, на ній швидко розвиваються бур'яни. З метою зменшення негативного впливу дефіциту світла й відповідного підвищення продуктивності фітоценозу в рослинництві використовують багатоярусні агроекосистеми (подібно до лучного й лісового ценозів), в яких по вертикальному профілю світлова ніша зайнята низькорослою і тіневитривалою рослинністю. Перехід від одновидових агроекосистем до полікультурних — одне з перспективних завдань оптимізації використання ФАР.

Отже, оптимальним вибором густоти рослин створюють найліпші умови для їх повітряно-світлового і ґрунтового живлення, які впливають на всі показники онтогенетичного розвитку, фотосинтетичну діяльність, формують високі продуктивність і якість урожаю.

Горизонтальний розподіл рослин на певній площі визначається їх густотою та габітусом і регулюється нормою висіву, способом посі-

ву. Горизонтальний розподіл є характерною ознакою не лише для надземних органів рослин, а й для кореневої системи. Як правило, горизонтальні розміри кореневої системи рослин у декілька разів більші за їх надземну масу. Визначальними у формуванні кореневої системи є вид та сорт культурної рослини, величина та співвідношення екологічних чинників, їх співвідношення й коливання в процесі розвитку. Екологічні чинники впливають на розвиток надземної маси рослин. Від початку проростання до утворення насіння в фітоценозі культурних рослин відбувається постійна боротьба за освітлення, теплову енергію, елементи повітряного живлення, як у сортових популяціях чистих і змішаних посівів, так і між ними та конкурентами, насамперед бур'янами.

Отже, ріст і розвиток, а в кінцевому рахунку й урожай — це поліфункція взаємодії рослин з екологічними чинниками.

Оптимізація рослинного покриву території агрофітоценозу як виду, так і певного сорту, визначається нормою висіву насіння, способом і напрямком сівби, формуванням густоти посіву та іншими агротехнологічними заходами.

Відповідно до природних зон та агроґрунтових регіонів України науково-дослідними установами розроблені оптимальні норми висіву насіння рослин (у мільйонах та тисячах штук схожого чистосортного насіння на 1 га площі). У виробничих умовах норму висіву визначають і встановлюють у кілограмах на 1 га з поправками на чистоту і схожість насіння. Масову норму висіву визначають за формулою

$$H = \frac{AM \cdot 100}{ГП} \text{ (кг/га)},$$

де A — кількість насінин, млн/га; M — маса 1000 насінин, г; $ГП$ — господарська придатність (середньовиважений відсоток чистоти та схожості насіння).

П р и к л а д. Партія озимої пшениці Поліська 90 має свідоцтво про якість насіння, видане лабораторією Державної насіннєвої інспекції, з такими показниками: M_{1000} насінин — 50,0 г, сортова чистота — 99,5 %, лабораторна схожість — 95,0 %. На 1 га потрібно висіяти 5 млн насінин. Масова норма висіву становитиме

$$H = \frac{5 \cdot 50 \cdot 100}{94,5} = 264,5 \text{ (кг/га)}.$$

Оптимальне просторове розміщення насіння, а відповідно й рослин (норми висіву), забезпечується способом посіву. Залежно від біологічних і морфологічних ознак, систем догляду за посівами, застосовують кілька способів посіву. Розрізняють звичайний рядковий спосіб сівби з міжряддями від 15 до 30 см, вузькорядний — з між-

ряддями 7,5 – 12 см, перехресний, діагонально-перехресний, широкорядний, гніздовий, квадратно-гніздовий, пунктирний, безрядковий, стрічковий, смуговий.

Звичайним рядковим способом висівають зернові, зернобобові та їхні суміші — пшеницю, жито, тритикале, ячмінь, овес, просо, гречку, горох, вику, люпин та ін.

Широкорядний спосіб застосовують для посіву просапних культур — кукурудза на зерно, силос та зелений корм, цукрові й кормові буряки, соняшник, соя, гречка, сорго, насінники багаторічних трав, баштанні культури та ін.

Гніздовий спосіб — висівають у рядки в окремі гнізда по декілька насінин, ширина міжрядь — від 30 до 210 см. До цього способу належить також *квадратно-гніздовий*, за якого гнізда розміщені у вершинах квадрата, та *діагонально-гніздовий*. Гніздовий спосіб посіву дає змогу проводити обробіток міжрядь у декількох напрямках, однак такі посіви трудомісткі, тому використовуються зрідка при вирощуванні баштанних культур.

Пунктирний спосіб посівів застосовують за різної ширини міжрядь, насіння в рядку розміщують на однаковій відстані. Таким способом висівають просапні культури (кукурудза, цукрові й кормові буряки, соя, соняшник та ін.).

Безрядковий суцільний спосіб — посів насіння врозкид вручну або механізовано. У сільськогосподарських підприємствах використовують рідко, в екстремальних ситуаціях, коли неможливо висіяти насіння через сошник, на присадибних ділянках — часто.

Стрічковий спосіб — чергують широкі міжряддя, які обробляються як правило в період вегетації, з посівом культур вузькорядним або звичайним рядковим способом — у кілька рядків. Такі посіви використовують здебільшого в овочівництві.

Смуговий спосіб — посів культур окремими смугами різної ширини, застосовують при вирощуванні кормових (жито + ріпак, соя + + кукурудза) та овочевих культур (цибуля + морква).

На світловий і тепловий режими рослин крім способу та норми висіву насіння впливає і напрямок посіву, особливо за широкорядних посівів. Для рослин, більш вимогливих до тепла і світла, рядки розміщують із заходу на схід (соя, кукурудза на зерно, соняшник та ін.), для рослин помірного клімату — з півночі на південь (наприклад, картопля).

У формуванні густоти рослинного покриву і розвитку кореневої системи, а отже, й продуктивності велику роль відіграють добрива і регулятори росту. Використанням підвищених і високих доз добрив запобігають зрідженню рослин, пов'язаному з нестачею елементів живлення. Удобрені рослини краще розвиваються, їх кількість на одиниці площі може бути значно більшою, що позитивно познача-

ється на врожаї. В останні роки почали широко застосовувати регулятори росту — речовини, які стимулюють ростові (збільшують кореневу й надземну масу) й активізують біохімічні процеси — фотосинтез, накопичення поживних речовин. Особливо широко їх використовують у біологічному землеробстві.

12.5. Синхронізація оптимальних умов середовища і продукційного циклу

Важливе місце в синхронізації оптимальних умов середовища належить обробітку ґрунту, який поліпшує фізичні властивості, створює умови для оптимізації водного, теплового, повітряного і поживного режимів.

Сукупність окремих заходів (прийомів) обробітку ґрунту в порядку їх виконання для знищення бур'янів і створення сприятливих умов для росту культурних рослин визначає систему обробітку ґрунту, включає основний, перед- та післяпосівний обробіток.

Прийоми обробітку ґрунту визначаються видом ґрунтообробної техніки за одноразового та одночасного її використання — оранка, культивація, щілювання, шлейфування, прикочування тощо.

Способи основного обробітку ґрунту поділяють на: безполицеві, полицеві, комбіновані, контурні, мілкі, мінімальні, мульчувальні, плоскорізні, поверхневі, протиерозійні, роторні та ін.

Полицевий — оранка з перевертанням скиби; виконують плугами загального призначення або спеціальними — ярусними, плантажними та ін.

Безполицевий — глибоке розпушування ґрунту плугами без полиць, дисковими плугами, чизельними культиваторами.

Поверхневий (глибина обробітку до 8 см) та мілкий (до 14 см) — виконують полицевими і дисковими лущильниками, дисковими боронами, культиваторами, фрезерними знаряддями.

Плоскорізний — обробіток ґрунту із залишанням рослинних решток на його поверхні культиваторами-плоскорізами.

Передпосівний — обробіток ґрунту з метою вирівнювання поверхні, накопичення і зберігання вологи, очищення поля від бур'янів, ущільнення. Проводять незадовго до посіву.

Післяпосівний — обробіток під час вегетації рослин у системі догляду. Досходове й післясходове боронування, міжрядні обробітки (розпушення, підгортання).

Для забезпечення оптимальних умов росту і розвитку культурних рослин обробітком ґрунту вирішують такі основні завдання:

- надання ґрунту на тій чи іншій глибині сприятливої будови для підтримання оптимальних водно-повітряного, теплового і поживного режимів;

• посилення колообігу поживних речовин залученням їх із глибоких шарів в орний;

• активування мікробіологічних процесів у ґрунті;

• знищення шкідливих організмів (бур'янів, хвороб);

• заробляння на потрібну глибину добрив, рослинних решток;

• запобігання ерозійним процесам;

• унеможливлення життєздатності багаторічних культур у сівозміні, на цілинних землях, сіножатях і пасовищах;

• надання потрібних властивостей і стану верхньому горизонту ґрунту для загортання насіння на задану глибину;

• регулювання водного і сольового режимів ґрунту.

12.6. Удобрення сільськогосподарських культур

Одним із найважливіших антропогенних чинників впливу на продуктивність сільськогосподарських культур є добрива. Залежно від походження їх поділяють на органічні та мінеральні.

До *органічних добрив* належать гній, компости, зелені (сидеральні), біогумус. Залежно від виду тварин розрізняють гній великої рогатої худоби, кінський, овечий, пташиний послід тощо, а від способу утримання тварин — підстилковий і безпідстилковий.

Підстилковий гній буває свіжим, напівперепрілим, перепрілим та перегноєм, що визначається строками і способами його зберігання. Ці види гною різняться між собою співвідношенням твердої фракції і води, ступенем розкладання підстилки. У свіжому гною солома зберігає свої колір та міцність, у напівперепрілому — втрачає міцність, набуває темно-коричневого кольору, маса гною зменшується порівняно зі свіжим на 20 – 30 %. Перепрілий гній — чорна мастка маса, часточки підстилки не розрізняються, втрачається близько 50 % початкової маси. Перегній — багата на органічну речовину чорна однорідна маса, що не перевищує 25 % вихідної маси свіжого гною.

Зі збільшенням тривалості зберігання з гнойової маси втрачається не тільки вода, а й значна кількість елементів живлення, особливо азоту. Для зменшення його втрат краще застосовувати щільний холодний спосіб зберігання гною і використовувати його в напівперепрілому стані, коли насіння бур'янів втрачає свою схожість.

Цінність гною як добрива визначається насамперед його природним походженням, й отже, екологічною чистотою. Він містить практично всі потрібні для рослин елементи живлення у відповідному співвідношенні, його дія довготривала, в разі внесення гною поліпшуються фізичні й хімічні показники ґрунту. Проте через низький вміст елементів живлення (в середньому — 0,3 – 0,6 % N, 0,2 – 0,3 P

ті 0,5 – 0,6 % К), й отже, високі витрати на зберігання, транспортування та внесення, гній вносять на поля, наближені до місць його виробництва і зберігання.

У зв'язку зі стрімким зменшенням поголів'я худоби в Україні в розрахунку на 1 га ріллі обсяги внесення органічних добрив скоротилися в кілька разів і не перевищують 2 т/га, тому ширше потрібно застосовувати сидеральні добрива, особливо в проміжних посівах. Кращими сидеральними культурами є бобові, які в симбіозі з бульбочковими бактеріями здатні засвоювати молекулярний азот атмосфери і переводити його в доступні до рослин іонні форми — аміачну, нітратну. Бобові культури за рахунок азотфіксації не тільки забезпечують власні потреби в азоті, а й збагачують ґрунт на цей елемент. Крім того, бобові здатні засвоювати з ґрунту важкодоступні для інших рослин форми фосфору.

Основна кількість елементів мінерального живлення рослин (азоту, фосфору, калію) надходить у рослини з внесених мінеральних добрив.

Мінеральні добрива — це речовини промислового виробництва, які містять у своєму складі один або кілька елементів живлення рослин. У світовому виробництві сільськогосподарської продукції на мінеральні добрива припадає близько 50 % загальної продуктивності. Залежно від переважного елемента живлення, який входить до їх складу, мінеральні добрива поділяють на азотні, фосфорні, калійні. Провідна роль серед них належить *азотним* добривам. Азот входить до складу білка ДНК, РНК, амінокислот та інших важливих речовин. За формою, в якій азот входить до складу молекули, азотні добрива поділяють на:

- аміачні (NH_4^+, NH_3) — скраплений аміак (82 %), аміачна вода (18 – 21 %), сульфат амонію (20,5 – 21 %), хлорид амонію (24 – 25 %);
- нітратні (NO_3^-) — натрієва селітра (15 – 16 %), кальцієва селітра (15,5 %);
- аміачно-нітратні — аміачна селітра (34 %); рідкі аміакати (розчини селітр в аміачній воді);
- амідні (—NH_2) — сечовина (карбамід, містить до 46 % азоту), ціанамід кальцію (19 – 21 %), карбамідформальдегідні — отримують полімеризацією сечовини й формальдегіду (до 40 % азоту, з якого лише 10 – 25 % — водорозчинного).

Фосфорні добрива містять у своєму складі незамінний для життя рослин макроелемент фосфор. У рослинах він здебільшого входить до складу органічних речовин (нуклеїнових кислот, нуклеопротеїдів, фосфоропротеїдів, фосфоліпідів), цукрофосфатів, інших органічних і неорганічних сполук.

Природною сировиною для виробництва фосфорних мінеральних добрив є фосфорити та апатити. Фосфорні добрива в Україні виробляють з імпортної сировини, хоча розвідано значні поклади фосфоритів у Донецькій обл. Всі види фосфорних добрив поділяють на три групи: розчинні у воді, напіврозчинні (не розчинні у воді, але розчинні в слабких кислотах і тому доступні для рослин), нерозчинні (не розчинні у воді та слабких кислотах фосфати недоступні для більшості рослин).

До першої групи належать суперфосфати простий порошкоподібний і гранульований (16 – 20 % P_2O_5), концентрований (до 50 %, подвійний, потрійний).

Напіврозчинними фосфорними добривами є преципітат (25 – 35 % P_2O_5), знефторений фосфат (20 – 32), томасшлак (7 – 20), мартенівський фосфатшлак (8 – 12), метафосфати (64 %).

До нерозчинних форм фосфатів належать фосфоритне борошно (19 – 25 % P_2O_5), вівіаніт (болотна руда — 12 – 26 %) та кісткове борошно (29 – 34 %, знежирене).

Калій також є незамінним макроелементом для рослин. Він сприяє фотосинтезу, синтезу цукрів, обводненню клітин, активує синтез і накопичення вітамінів, ферментів. За калійного голодування гальмуються розвиток рослин та їх дозрівання, знижуються врожай, його якість і стійкість до хвороб. До основних калійних мінеральних добрив належать хлорид калію (60 % K_2O), калійна сіль (40), калімаг (16 – 19), калімагнезія (26 – 28), сульфат калію (45 – 52 %). Усі калійні добрива добре розчинні у воді, легко засвоюються рослинами. Калій не вимивається з ґрунту завдяки обмінному та необмінному поглинанню ґрунтовим вбирним комплексом (за винятком торф'янистих ґрунтів і торфовищ).

Складними добривами є *змішані*, в яких два або більше елементів входять до складу різних молекул, та *комплексні* — різні елементи входять до складу однієї молекули (амофос, амофоска, нітроамофоска та ін.).

Ефективність застосування добрив залежить від строків і способів їх внесення. За способами внесення розрізняють *основний* (добрива вносять під основний обробіток ґрунту, вони використовуються упродовж вегетаційного періоду), *передпосівний* (перед посівом), *припосівний* (під час посіву) та *підживлення* (під час вегетації рослин). Для внесення добрив вдаються до багатьох прийомів, серед яких виділяють *внесення врозкид* (розкидають по площі механізмами або вручну), рядкове (за посіву рядками) або локальне *обприскування* розчинами добрив.

12.7. Порода свійських тварин як чинник підвищення продуктивності та стійкості агроекосистеми

Одомашнення тварин у різних ґрунтово-кліматичних умовах, особливості їх відбору й добору в поєднанні з природним ходом еволюції, соціально-економічні потреби людини зумовили потребу у виведенні великої кількості порід свійських тварин.

На земній кулі налічується 2737 порід, у тім числі понад 1000 — великої рогатої худоби, 250 — коней, 203 — свиней, 160 — овець, 232 — птиці.

Кожна порода має свої характерні біологічні і господарські особливості, якими воно різниться від інших порід. Ці особливості формуються в певних умовах середовища і зумовлені спадковістю тварин. Величезна кількість порід — це результат людської праці упродовж багатьох тисячоліть. Учені вважають породу тварин більшою мірою продуктом праці людей багатьох поколінь, ніж продуктом природи.

Порода — це численна, створена наполегливою працею, цілісна група свійських тварин, які мають спільне походження, подібні за низкою характерних особливостей типу і продуктивності, що стійко успадковуються. В зоотехнічній літературі поряд з поняттям «порода» часто вживають термін «популяція».

Популяція — це група особин, які населяють певний ареал у просторі і часі, вільно спаровуються між собою.

До сільськогосподарських популяцій належать породи, їх внутрішньопородні типи, відріддя й окремі стада. У скотарстві, де спермою одного бугая осіменяють тисячі корів і телиць, популяцією вважають не окремі стада, а худобу однієї породи в зоні діяльності племінного підприємства. Природні популяції сільськогосподарських тварин бувають відкритими (незамкненими), якщо у розмноженні беруть участь також і інші популяції, і закритими (замкненими), коли порода розмножується виключно спаровуванням своїх особин.

В екологічному аспекті порода тварин — це структурована біологічна система в межах виду, створена і керована людиною на основі генетичних законів спадковості з метою отримання повноцінних продуктів харчування і сировини певної якості для промисловості. Первинною нероздільною одиницею структури є індивідуум — особина, унікальна і неповторна за своїм генотипом. Різноманітність генотипів обмежена мірою варіації спадковості виду, роду. Внутрішньовидова генетична різноманітність є основою для відбору.

Генетичними структурними елементами системи породи, які мають істотне значення в селекції, є: стать, покоління, генеалогічна лінія, родина. Особини чоловічої статі мають більшу мінливість по-

рівняно з жіночими як за фенотипом, так і за генотипом, тому особини чоловічої статі зумовлюють підвищену межу мінливості, а жіночої — певну стабільність популяції. Цю діалектичну закономірність використовують у роботі з породою: необхідно одночасно підтримувати бажані величини і мінливості, і стабільності ознак, що характеризують породу як єдине ціле. Кожна порода має свій генетичний потенціал — генетично зумовлений рівень продуктивності тварин, якого досягають типові представники певної породи в нормованих умовах повноцінної годівлі та утримання.

Наприклад, на сучасному етапі селекції, годівлі й утримання тварин генетичний потенціал симентальської породи становить 4 – 6 тис. кг молока від однієї корови за лактацію з вмістом жиру 3,8 – 4,0 %, чорно-рябої — відповідно 5 – 6 із жирністю 3,4 – 3,5 %, голштинської — 7 – 9 тис. кг і 3,2 – 3,4 % жиру. Генетичний потенціал порід у реальних умовах годівлі й утримання тварин виявляється лише на 40 – 60 % спадково зумовленого.

Цей показник динамічний і залежить від інтенсивності селекції в породі, використання найбільш високопродуктивних плідників-поліпшувачів, спрямованого вирощування молодняку, повноцінної годівлі тощо.

У породоутворювальному процесі важливу роль відіграють адаптація та акліматизація порід. У разі завезення в господарства, що мають інші кліматичні й кормові умови, в організмі племінних тварин змінюються функції відтворення, життєздатності, стійкості до захворювань.

Під ***адаптацією*** (пристосовуваністю) — розуміють процес змін у функціях організму, який забезпечує його здатність існувати в певному середовищі. Розрізнюють два види адаптації: *генотипову*, успадковану від батьків, і *фенотипову*, якої організм набуває в процесі онтогенезу. Пристосованість до умов життя визначається в основному плодючістю, народжуваністю, приплодом, смертністю, міцністю конституції. Пристосованість місцевих, корінних (аборигенних) порід до умов проживання формується штучним і природним добором протягом тривалого часу.

Під *акліматизацією* розуміють процес адаптивних змін, які включають перебудову генотипу і фенотипу тварин під впливом чинників зовнішнього природного середовища та методів селекції у низці генетико-екологічних генерацій. Процес пристосування до нових умов триває кілька поколінь і з кожним наступним поколінням, яке формується в цих умовах, акліматизація відбувається легше. Вона великою мірою залежить від умов годівлі та утримання, забезпечення завезених з інших зон тварин повноцінними кормами (раціоном) за технології, яка найбільше відповідає загальноприйнятим вимогам утримання тварин, полегшує процес акліматизації.

Цьому сприяє також оптимальний режим вирощування. Для забезпечення кращої акліматизації тварин представників завезених порід часто схрещують із місцевим поголів'ям. Це дає змогу отримати потомство, яке поєднує добрі продуктивні якості та пристосованість до умов певної зони розведення.

12.8. Лучні біоценози, їх роль в оптимізації просторово-часової структури стада

Одними з найстабільніших агроекосистем сучасного землеробства є лучні біоценози. Залежно від використання їх поділяють на сінокоси та пасовища. Лучні угіддя, призначені для заготівлі сіна та інших кормів для худоби шляхом скошування травостою, називають *сінокосами*, а ті, на яких випасають худобу в теплий період року, — *пасовищами*. Досить часто лучні угіддя є комбінованими: певний час слугують сінокосами, потім — пасовищами, або навпаки.

Згідно із сучасною класифікацією, в основу якої покладено зональні особливості видового складу рослин та гідрологічні режими, лучні угіддя поділяють на:

- суходільно-лучні — розміщені в Лісовій зоні на дерново-підзолистих та інших типах ґрунтів;
- лучно-степові — знаходяться в Лісостеповій зоні на чорноземах і солонцях;
- середньо- і сухостепові — у Степовій зоні на чорноземах і каштанових ґрунтах;
- короткозаплавні — на лучних ґрунтах із короткочасним затопленням талими водами (до 15 діб);
- довгозаплавні — затоплюються талими водами більш як на 15 діб;
- болотні — на мінеральних і торфових перезволожених ґрунтах, здебільшого в Лісовій зоні.

Крім перелічених, поширені гірські типи трав'яних багаторічних ценозів.

Природні лучні угіддя — одні з найстійкіших природних систем. Під покривом багаторічних трав завдяки постійному збагаченню органічною речовиною сформувалися найродючіші ґрунти — лучні, дернові, торфовища, чорноземи, каштанові та ін. Їх екологічна цінність визначається чисельністю видів трав'янистих рослин, яких налічують десятки і навіть сотні. В лучних ценозах повільно відбувається сукцесія, на одних і тих самих територіях упродовж багатьох років ростуть і розвиваються одні і ті ж рослини. Характерна ознака лучних ценозів — наявність дернини (верхній шар ґрунту, пронизаний кореневою системою рослин), в якій з максимальною

інтенсивністю йдуть процеси перетворення речовин та енергії. Рослинність лучних угідь залежно від потреб у воді поділяють на три групи: *гідрофіти* (добре розвиваються в умовах перезволоження); *мезофіти* (потребують оптимального рівня вологості ґрунту — 70 – 80 % польової вологоємності); *ксерофіти* — витримують нестачу вологи в ґрунті та повітряні посухи.

Лучний травостій — основне джерело енергії для гетеротрофних організмів, у тім числі і для сільськогосподарських тварин. Загальна кількість видів трав'янистих рослин у лучних ценозах сягає 4000, серед них переважають айстрові, тонконогові, бобові. У фітоценозах деяких типів трав'яних біогеоценозів трапляються мохи і водорості. Природних лучних біогеоценозів сьогодні дуже мало, в основному вони знаходяться на заповідних територіях. Абсолютна більшість їх уже тривалий час використовується в сільськогосподарському виробництв, як сінокоси і пасовища. Через відчуження надземної біомаси рослин, втрату природного обсіменіння, інші негативні чинники (пасовищне і технічне навантаження) природні лучні ценози потребують наукового комплексного підходу з метою їх збереження і поліпшення.

Для стабілізації та поліпшення природних сінокосів як специфічної агроекосистеми широко застосовують їх поверхневе поліпшення внесенням мінеральних добрив, хімічною меліорацією, висіванням у дернину цінних видів трав. Завдяки цим заходам продуктивність сінокосів зростає, збільшується кількість укосів, змінюється ботанічний склад травостою, поліпшується кормова якість.

Особливе місце серед лучних угідь займають пасовища. У пасовищний біогеоценоз крім фітоценозу (рослинність) входить і зооценоз (тварини). На природне пасовище додатковий негативний вплив порівняно із сінокосами чинить випасання худоби. Під час випасання на дернину тиснуть копита тварин. Найбільшого навантаження травостою завдає велика рогата худоба, значно меншого — вівці та кози. Під тиском копит тварин порушується щільність дернини, розрізається наземна й коренева системи рослин, відбувається ущільнення ґрунту. Через фекальні виділення тварин, особливо великої рогатої худоби, значні площі пасовищ випадають з використання. За підрахунками австралійських учених, за дворічної експлуатації пасовищ без належного догляду за ними непридатними стають до 70 % площ. Тому використання і догляд за пасовищами технологічно складніші, ніж за сінокосами.

Часто через низьку продуктивність, незадовільний видовий склад, наявність чагарників, нерівність поверхні, наявність отруйних рослин, віддаленість від місць споживання та інших чинників постає потреба у створенні багаторічних штучних трав'яних ценозів — культурних сінокосів і пасовищ. Культурні сінокоси і пасови-

ща створюють заміною природної рослинності лучних угідь: знищенням старої дернини оранкою, дискуванням чи іншими засобами, посівом сумішей багаторічних трав, створенням на ріллі лучних угідь.

Культурні лучні угіддя, як правило, мають вищу порівняно з природними продуктивність, кращий у кормовому відношенні видовий склад, однак при створенні й використанні потребують більших матеріальних витрат. Під час створення культурних сінокосів і пасовищ на місцях природних проводять комплекс культуртехнічних робіт, таких як знищення чагарникової рослинності, дерев, внесення органічних і мінеральних добрив, меліорантів, вирівнювання поверхні, водні меліорації, плантажна оранка, підготовка ґрунту до посіву, посів. До складу травосумішей культурних сінокосів включають найцінніші сінокісні трави. Серед бобових найбільшого поширення набули люцерна посівна, конюшина лучна, зі злакових (тонконогових) — перевагу віддають високим, добре облиственим так званим верховим рослинам, райграсу багатоквітковому, грястиці збірній, стоколосу безостому, лучній і тростинній костриці та іншим видам. На культурних пасовищах висівають багаторічні трави, здатні витримувати інтенсивне пасовищне використання, створювати дернину, стійку до витоптування, забезпечувати рівномірне надходження якісного корму протягом усього пасовищного періоду. До складу пасовищних травосумішей включають конюшину повзучу, люцерну жовту, пажитницю пасовищну, тимофіївку лучну, багато інших видів трав та їхніх сортів. Упродовж існування новостворених ценозів відбувається кілька змін (сукцесій) трав'янистої рослинності. В перший рік залуження в ботанічному складі переважають бур'яни, які знищують 2 – 3-разовим їх підкошуванням; із другого року життя протягом кількох років (4 – 6) залежно від використання триває стадія домінування в травостоях висіяних видів трав, після чого в них починають переважати місцеві види трав, продуктивність угідь знижується.

Довговічність та продуктивність сінокосів і пасовищ визначають не тільки видовий склад рослин, а й більшою мірою — система використання та догляду. Одним з ефективних способів регулювання продуктивності лучних угідь є внесення добрив. Перед залуженням, особливо на бідних на гумус ґрунтах, вносять органічні добрива дозою 40 – 60 т/га, та мінеральні — азотні, фосфорні, калійні. У разі посіву бобово-злакових травосумішей азотні добрива виключають. У зв'язку з невисокою ефективністю підживлення травостоїв фосфорними добривами їх краще вносити до посіву, в тім числі і в запас. У роки застосування мінеральні добрива вносять частинами під кожен укіс або цикл. Дози азоту, які на злакових сінокосах становлять 40 – 60, на пасовищах — 30 – 40 кг/га діючої речовини, в разі зро-

шення можуть збільшуватись. За наявності у травостоях понад 40 % бобових компонентів підживлення азотними добривами на проводять. Калійні добрива вносять разом з азотними або окремо в тих самих дозах і в ті ж самі строки. Якщо в основне удобрення було внесено мало фосфорних добрив, то їх вносять і в підживлення. Високопродуктивні сінокоси протягом вегетації скошують 3 – 4 рази, пасовища забезпечують 4 – 6 циклів спасування, за зрошення їх кількість збільшується.

Довговічність і продуктивність травостоїв, особливо пасовищ, визначається інтенсивністю їх використання та доглядом. Навантаження худобою має відповідати продуктивності пасовища. В разі перевантаження швидко знищується травостій, зменшується його довговічність, за незначного навантаження — збільшується кількість нез'їденої рослинності, трава швидко старіє і втрачає якість.

У системі догляду за пасовищами обов'язковими елементами є підкошування травостою після кожного спасування, вирівнювання поверхні, рівномірний розподіл екскрементів по площі. Кращими способами випасання є загінний (1 – 2 дні в загоні) та порційний (кілька годин на добу на огороджених електропастухом територіях). Практика використання пасовищ засвідчує, що навіть за правильної системи догляду їх продуктивне довголіття не перевищує 4 – 6 років. Кращі результати забезпечують сінокісно-пасовищні угіддя, частина яких слугує сінокосом, а інша частина — пасовищем зі зміною напряму використання через рік. За комбінованого використання ефективним способом подовження продуктивного довголіття травостоїв є періодичне висівання в дернину через кожні 2 – 3 роки цінних видів трав на сінокісних ділянках.

Запитання для самоконтролю

1. Опишіть зональні системи сівозміни, їх структуру. **2.** Наведіть класифікацію сівозмін. **3.** Що таке сорт і гібрид сільськогосподарських рослин? **4.** У чому полягає економічна ефективність селекції? **5.** Зазначте коефіцієнти використання ФАР сільськогосподарськими культурами. **6.** Як розраховують масову норму висіву насіння? **7.** Які способи посіву сільськогосподарських культур ви знаєте? **8.** Схарактеризуйте органічні добрива та вкажіть їх значення. **9.** Наведіть класифікацію азотних мінеральних добрив. **10.** Схарактеризуйте фосфорні та калійні мінеральні добрива, назвіть їх властивості. **11.** Що таке лучні біогеоценози? **12.** Як створюють культурні лучні угіддя і яке їх завдання? **13.** У чому полягають особливості удобрення бобово-злакових та злакових культурних пасовищ? **14.** Зазначте способи використання довготривалих штучних трав'яних ценозів.





Розділ 13

ОБМЕЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО АГРОТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

13.1. Зменшення пестицидного навантаження

Еколого-технологічна, санітарно-гігієнічна характеристики та оцінка пестицидів. Збирання високих урожаїв сільськогосподарських культур у сучасних умовах неможливе без захисту рослин, який великою мірою визначає ефективність технологічних заходів. Є кілька методів захисту рослин: організаційно-господарський, агротехнічний, імунологічний, фізичний, механічний, біологічний, хімічний.

Провідне місце належить хімічному методу захисту, який для боротьби зі шкідливими організмами (шкідниками, інфекційними хворобами, бур'янами) передбачає застосування пестицидів.

Пестициди (від лат. *pestis* — зараза і *caedo* — вбиваю) — токсичні речовини, їх сполуки, суміші речовин хімічного чи біологічного походження, призначені для знищення, регуляції та припинення розвитку шкідливих організмів, внаслідок діяльності яких уражуються рослини, тварини, люди, завдається шкода матеріальним цінностям, а також гризунів, бур'янів, деревної, чагарникової рослинності, смітних видів риб.

За характером і механізмом дії пестициди поділяють на *контактні* та *системні*. Контактні призводять до загибелі шкідливого організму за безпосередньої дії в місці нанесення (локально). Системні проникають у рослини, пересуваються по їх судинній системі і виявляють свою дію в усій рослині. Перевага їх полягає ще й у тому,

що на відміну від контактних вони за правильного застосування не змиваються. Це усуває потребу повторної обробки після опадів і загалом зменшує потрапляння їх у навколишнє середовище.

Застосування пестицидів, які виявляють низку негативних властивостей, спричинює забруднення сільськогосподарської продукції, ґрунту, водойм, загибель корисних організмів, погіршення здоров'я людини. Формування стійких популяцій шкідливих організмів знижує ефективність пестицидів, що потребує постійного їх вдосконалення.

Токсичність пестицидів — це їх здатність призводити до порушення життєдіяльності організмів людини і тварин (*отруєння*) або рослин (*фітотоксичність*).

Фітотоксичність виявляється у пригніченні росту, зміні темпів розвитку, зниженні продуктивності. Розрізняють *гостру* і *хронічну* форми фітотоксичності. За гострої спостерігаються некрози, опіки, деформації, засихання органів рослин через певний час після застосування препаратів. Хронічна зумовлена тривалою дією пестицидів, виявляється поступово, хоча й призводить до тих самих наслідків.

Розрізняють такі види *отруєння:*

- гостре — спричинене одноразовим надходженням великої кількості отруйної речовини;
- підгостре — зумовлюється надходженням меншої кількості отруйної речовини і відбувається менш інтенсивно;
- хронічне — спричинене тривалим надходженням отруйної речовини в невеликих кількостях.

Для визначення ступеня небезпечності пестицидів беруть до уваги такі їх *дози* або *концентрації:*

- підпорогова — максимальна кількість отруйної речовини, в разі надходження якої в живий організм не відбуваються зміни, що виходять за межі фізіологічних коливань;
- порогова — мінімальна кількість отруйної речовини, що викликає зміни, які визначаються тестами, за відсутності зовнішніх ознак отруєння тварин;
- токсична несмертельна — кількість отруйної речовини, яка викликає видимі ознаки отруєння, але не призводить до смерті;
- токсична смертельна — кількість отруйної речовини, яка спричинює загибель тварин.

Пестициди зумовлюють й інші патогенні зміни в організмі людини та тварин:

- утворення пухлин — *бластомогенність* (злоякісних — *канцерогенність*);
- мутації — *мутагенність*;
- народження чи розвиток потвор — *тератогенність*;
- порушення нормального розвитку зародка — *ембріогенність*;
- алергії — *алергенність*.

Згідно з класифікацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), за ступенем небезпечності для людини пестициди поділяють на чотири класи (табл. 13.1).

Таблиця 13.1. **Класифікація пестицидів, запропонована ВООЗ**

Клас небезпечності	$ЛД_{50}$* пестицидів для щурів, мг/кг			
	у разі потрапляння у шлунок		у разі дії на шкіру	
	твердих	рідких	твердих	рідких
I. Надзвичайно небезпечні	5 і менше	20 і менше	10 і менше	40 і менше
II. Високонебезпечні	5 – 50	20 – 200	10 – 100	40 – 400
III. Помірно небезпечні	50 – 500	200 – 2000	100 – 1000	400 – 4000
IV. Малонебезпечні	> 500	> 2000	> 1000	> 4000

* $ЛД_{50}$ (*летальна доза*) — середня кількість речовини в міліграмах на 1 кг живої маси, яка викликає загибель 50 % піддослідних тварин.

Запропонована Л.І. Медведем, Ю.С. Коганом та Є.І. Спину токсиколого-гігієнічна класифікація пестицидів, яка враховує рекомендації ВООЗ, наведена в табл. 13.2.

Таблиця 13.2. **Токсиколого-гігієнічна класифікація пестицидів**

Параметр	Клас небезпечності			
	I. Надзвичайно небезпечні	II. Високонебезпечні	III. Помірно небезпечні	IV. Малонебезпечні
$ЛД_{50}$ для щурів, мг/кг, у разі потрапляння				
у шлунок	≤ 50	50 – 200	200 – 1000	> 1000
на шкіру	≤ 100	100 – 500	500 – 1000	> 2000
Небезпечність речовини за ступенем леткості — $СК_{50}$ для щурів за 4-годинної експозиції, мг/м^3	≤ 200	200 – 1000	1000 – 5000	> 5000
Небезпечність за хронічного впливу — насичувальна концентрація	Вища або дорівнює токсичній	Вища за порогову	Зі слабкою дією	Неефективна
Коефіцієнт кумуляції $K_к$	< 1	1 – 3	3 – 5	> 5

Закінчення табл. 13.2

Параметр	Клас небезпечності			
	I. Надзвичайно небезпечні	II. Високонебезпечні	III. Помірно небезпечні	IV. Малонебезпечні
Стійкість у навколишньому середовищі (період виявлення решток)	Дуже стійкі — понад 12 міс	Стійкі — 6 – 12 міс	Помірно стійкі — 1 – 6 міс	Малостійкі — менш як 1 міс
Отруєння	Можливі гострі, тяжкі	Можливі гострі	У виключних випадках можливі гострі	Гострі неможливі
Можливість терапії	Спеціальної немає, терапевтичні можливості недостатні	Відомі антидоти, середні терапевтичні можливості	Відомі антидоти добрі терапевтичні можливості	Специфічна терапія, добрі терапевтичні можливості
Подразнення шкіри	Дуже сильне подразнення; гострий токсичний дерматит від концентрованих препаратів; токсичний дерматит від робочого розчину	Сильне подразнення; токсичний дерматит від концентрованих препаратів; кумулятивний ефект від робочого розчину	Подразнення; токсичний дерматит від концентрованих препаратів	Практично відсутнє
Подразнення очей і верхніх дихальних шляхів	Робочі розчини мають подразнювальну дію	Робочі розчини мають слабку подразнювальну дію	Концентровані робочі розчини для ультрамалооб'ємного обприскування мають подразнювальну дію	Робочі розчини практично не чинять подразнювальної дії
Алергійність	Алергійна та фотосенсибілізаційна дія на людину	Алергійна дія на людину	Можливий сенсибілізаційний ефект на основі хімічної структури	Сенсибілізаційна дія відсутня

Примітки. 1. Критерій інгаляційної токсичності приймають за лімітуючий, якщо в разі застосування на практиці складаються умови для створення близької до розрахункової концентрації пари, рідких і твердих аерозолів препарату в повітрі робочої зони.

2. $СК_{50}$ (середньолетальна концентрація) — кількість пестициду, яка призводить до загибелі 50 % піддослідних тварин.

3. $K_к = \frac{ЛД_{50}(\text{хронічний дослід})}{ЛД_{50}(\text{гострий дослід})}$.

Небезпечність пестициду для людини визначають на основі порівняльної оцінки фактичної його дози ($Д_ф$), що надходить в організм людини протягом доби, та допустимої добової дози (ДДД):

$$ФНП = \frac{Д_ф}{ДДД},$$

де ФНП — фактичне навантаження пестициду, од.; $Д_ф$ — фактична доза пестициду (формується з добових його кількостей, що надходять в організм людини з продуктами харчування, питною водою, атмосферним повітрям, середній внесок яких становить відповідно 0,7 – 0,9, 0,1 – 0,3 та 0, 03 – 0,10); ДДД — максимальна доза пестициду (мг/кг маси тіла людини), яка при щодобовому надходженні в організм людини не викликає захворювань чи порушення стану здоров'я, що виявляються сучасними методами досліджень, і не впливає негативно на наступні покоління.

Показником ДДД характеризують біологічну активність пестициду. Нижче наведено класифікацію пестицидів за значеннями ДДД:

Клас небезпечності	**ДДД, мг/кг маси тіла**
I. Високонебезпечні	До 0,002
II. Небезпечні	0,0021 – 0,005
III. Помірно небезпечні	0,0051 – 0,020
IV. Малонебезпечні	Понад 0,020

Оскільки на людину одночасно може впливати кілька пестицидів, треба брати до уваги сумарну їх кількість $ФНП_{\sum}$:

$$ФНП_{\sum} = \sum_{i=1}^{i=n} ФНП_i.$$

За $ФНП_{\sum} > 10$ забруднення об'єктів навколишнього середовища високонебезпечне для людини, від 3 до 10 (включно) — небезпечне, від 1 до 3 (включно) — потенційно небезпечне, менш як 1 — безпечне. За ФНП > 3 треба вносити зміни в систему захисту рослин, зокрема зменшувати кількість обробок, застосовувати менш небезпечні пестициди та ін.

Вміст залишкових кількостей пестицидів у продукції рослинного й тваринного походження нормують і контролюють. Для окремих пестицидів визначено *максимально допустимі рівні* (МДР, мг/кг продукту), щоб їх надходження в організм людини з продуктами харчування не перевищило ДДД.

На основі МДР встановлюють:

• *період чекання*, тобто строк останньої обробки рослин пестицидами (у добах до збирання врожаю);

• *максимальне число обробок* рослин пестицидом за сезон;

• *дозу препарату* (кг/га, л/га).

Щоб запобігти перевищенню ДДД, встановлюють допустимі рівні вмісту пестицидів в об'єктах навколишнього середовища:

• *гранично допустимі концентрації пестицидів* (ГДК) у повітрі робочої зони (для осіб, зайнятих роботами, пов'язаними із застосуванням пестицидів, мг/м^3), атмосферному повітрі (для всіх категорій населення, мг/м^3), воді, водойм санітарно-побутового та рибогосподарського призначення (мг/дм^3), ґрунті (мг/кг);

• до встановлення ГДК в експерименті — тимчасові *розрахункові нормативи:*

• *орієнтовно безпечні рівні впливу* (ОБРВ) у повітрі робочої зони та атмосферному повітрі (мг/м^3);

• *орієнтовно допустимі концентрації* (ОДК) у воді (мг/дм^3) та ґрунті (мг/кг).

Для обмеження надходження пестицидів в організм людини з повітрям та крізь шкіру встановлено *строки виходу людей (діб)* на оброблені пестицидами площі для виконання ручних і механізованих робіт із догляду за рослинами.

Сукупність вимог щодо зберігання, транспортування та застосування пестицидів називають *регламентом*. Усі відомості про регламенти і нормативи застосування окремих препаратів, які забезпечують необхідні ефективність та безпечність, наведені в «Переліку пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні».

Поводження пестицидів у навколишньому середовищі. Негативні наслідки хімічного методу захисту рослин зумовлені певною стійкістю пестицидів, їх здатністю мігрувати в ґрунті, воді, повітрі, біологічними ланцюгами і в зв'язку з цим — виявляти свою дію далеко за межами території, де вони були застосовані (рис. 13.1).

Пестициди, потрапляючи в ґрунт, з часом розкладаються під впливом біологічних процесів, які в ньому відбуваються. Інтенсивність їх розкладання визначається вмістом гумусу в ґрунті, його гранулометричним складом, водно-тепловим режимом, реакцією ґрунтового розчину, іншими ґрунтово-кліматичними чинниками. Чим вони сприятливіші для мікробіологічної діяльності, тим швидше відбувається деструкція пестицидів. Найнебезпечнішими вважають персистентні (стійкі) пестициди зі строком розкладання в ґрунті на нетоксичні компоненти понад два роки. До таких, зокрема, належать хлорорганічні сполуки (ДДТ, гексахлоран тощо), використання яких заборонене. З трьох основних (за обсягом застосування) груп пестицидів найбільш згубними для мікроорганізмів є фунгіци-

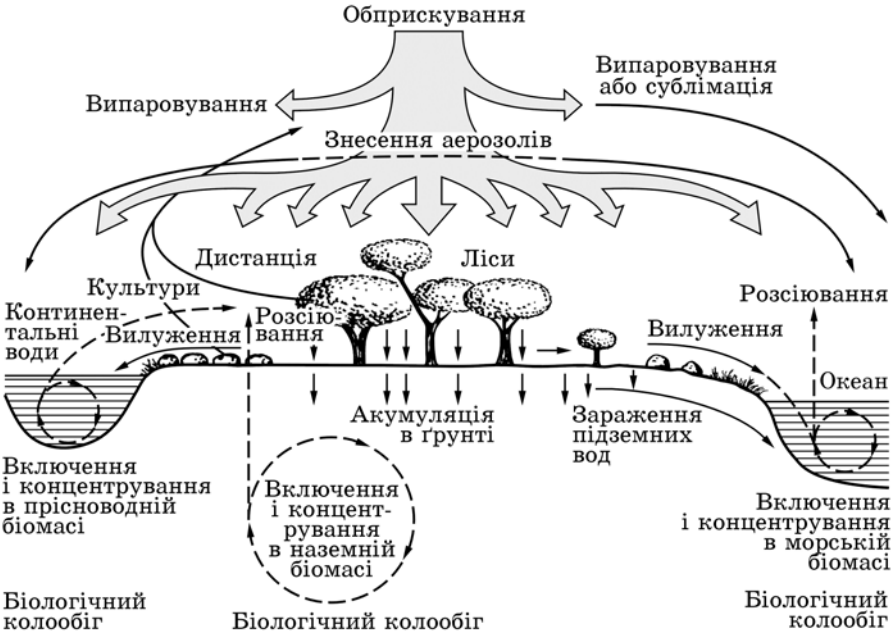


Рис. 13.1. Переміщення пестицидів у біосфері

ди, найменш згубними — гербіциди. Інсектициди найнебезпечніші для ґрунтової фауни, а з мікроорганізмів — для бактерій.

Важливим чинником, який визначає поводження пестициду в ґрунті, є його адсорбційна здатність. За високого вмісту гумусу, важкого гранулометричного складу ґрунт утримує більше пестицидів, тим самим їх міграція уповільнюється.

Видаляються пестициди з ґрунту вимиванням у ґрунтові води або поверхневим змиванням, внаслідок вивітрювання, винесення рослинами.

Пестициди, що потрапили у водойми з ґрунту та атмосфери, руйнуються, мігрують, накопичуються у водяних організмах, мулі. Інтенсивність їх руйнування визначається в основному температурою та pH води. Найнебезпечніші пестициди здатні зберігатися понад 30 діб. Для водяної фауни найбільш токсичними є інсектициди, найменш токсичними — фунгіциди; гербіциди посідають проміжне місце.

В атмосферне повітря пестициди надходять внаслідок знесення їх під час хімічних обробок посівів або внаслідок випаровування з поверхні ґрунту й рослин, а видаляються з нього фотохімічним розкладанням та з опадами.

Толерантність території до пестицидного навантаження. Показники, які враховують небезпечність пестицидів для фауни екосистеми, покладено в основу їх екотоксикологічної класифікації (табл. 13.3).

Таблиця 13.3. **Екотоксикологічна класифікація небезпечності пестицидів** (за В.П. Васильєвим та ін., 1989)

Критерій	I. Високонебезпечні		II. Небезпечні		III. Помірно небезпечні		IV. Малонебезпечні	
	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка
Стійкість у ґрунті (період виявлення), міс	> 12	10	12 – 6	8	5 – 1	6	< 1	3
Стійкість у рослинах (T_{50}), діб	> 20	12	20 – 11	10	10 – 5	8	< 5	4
Стійкість у воді (T_{50}), діб	> 30	10	30 – 11	8	10 – 5	6	< 5	3
Біокумуляція (коефіцієнт накопичення $K_н$) за міграції								
у водній екосистемі	> 1000	12	1000–201	10	200 – 51	6	< 50	2
у наземних трофічних ланцюгах	> 10	13	10 – 5	12	4 – 1	4	< 1	1
Міграція по ґрунтовому профілю, см	> 50	7	50 – 21	5	20 – 10	2	< 10	1
Коефіцієнти міграції								
ґрунт — рослини	> 0,5	5	0,5 – 0,11	4	0,1 – 0,02	3	< 0,02	1
ґрунт — повітря	> 0,1	4	0,1 – 0,02	3	0,01–0,005	2	< 0,005	1
ґрунт — вода	> 0,1	4	0,1 – 0,05	3	0,04-0,01	2	< 0,01	1
Фітотоксична дія (загибель рослин), %	> 50	4	50 – 20	3	< 20	2	0	0
Дія на ґрунтовий біоценоз (зміна загальної чисельності мезофауни, сапрофітної мікрофлори, ферментативної активності ґрунту)								
%	100–51	4	50 – 25	3	25 – 10	2	< 10	0
час відновлення, міс	> 6	4	6 – 3	3	3 – 1	2	< 1	0

Закінчення табл. 13.3

Критерій	I. Високонебезпечні		II. Небезпечні		III. Помірно небезпечні		IV. Малонебезпечні	
	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка	Показник	Оцінка
Токсичність								
для корисних комах (запилювачів, ентомофагів)	Дуже висока	4	Висока	3	Помірна	2	Низька	1
для риб	Дуже висока	4	Висока	3	Помірна	2	Низька	1
Утворення токсичних і стійких продуктів трансформації, % вихідної кількості	> 30	7	30 – 11	5	10 – 5	3	< 5	0

П р и м і т к и. 1. За сумарного оцінкового бала понад 80 пестициди відносять до I класу небезпечності, 50 – 80 — до II, 20 – 50 — до III, менш як 20 — до IV.

2. T_{50} — період півроспаду, тобто час, протягом якого вміст пестициду в об'єкті дослідження знижується на 50 %:

$$T_{50} = \frac{0{,}693}{k}; \quad k = \frac{2{,}303}{t} \lg \frac{C_0}{C_t}$$

(k — константа; t — час, доба; C_0, C_t — вміст пестициду, мг/кг, відповідно в початковий момент часу і час t).

3. $K_н = \frac{C_о}{C_в}$ — коефіцієнт накопичення ($C_о$, $C_в$ — концентрація пестициду, мг/кг, відповідно у водяних організмах і воді).

Отже, об'єктивнішу оцінку небезпечності пестициду отримують у разі врахування обох класифікацій — токсиколого-гігієнічної та екотоксикологічної і визначення інтегрального ступеня небезпечності:

$$C_н = (K_А + K_Б) - 1,$$

де $K_А$ і $K_Б$ — класи небезпечності пестициду відповідно за категоріями А (за токсиколого-гігієнічною класифікацією) та Б (за екотоксикологічною класифікацією).

Пестициди 1-, 2-го ступенів — особливо небезпечні; 3-го — небезпечні; 4-, 5-го — помірнонебезпечні, 6-, 7-го — малонебезпечні. Пестициди 1 – 3-го ступенів небезпечності слід застосовувати з посиленим контролем, а за можливості утримуватися від їх використання.

Токсиколого-гігієнічну й екотоксикологічну характеристики пестицидів разом з їх кількісним навантаженням на територію та інтенсивністю розкладання використовують для розрахунку потенційного рівня інтегральної небезпечності забруднення пестицидами навколишнього середовища. Порядок розрахунку наведено нижче.

1. Визначають середньовиважений *інтегральний ступінь небезпечності застосовуваних пестицидів С*:

$$C = \frac{C_{н1}m_1 + C_{н2}m_2 + ... + C_{нn}m_n}{M},$$

де $C_{н1}$, ..., $C_{нn}$ — інтегральний ступінь небезпечності окремого пестициду; m — маса окремого пестициду, кг; M — сумарна маса пестицидів, кг (M і m — розраховують за препаратом, для гранульованих — за діючою речовиною); n — кількість пестицидів.

2. Знаходять усереднене навантаження пестицидів на територію — *екотоксикологічну дозу* $Д_{ект}$, кг/га:

$$Д_{ект} = \frac{M}{S},$$

де S — площа території, на якій застосовано пестициди, га (для садів, що плодоносять, цю площу множать на коефіцієнт 3, що враховує абсорбційну поверхню листків).

3. Обчислюють *індекс самоочищення території* ($I_{с.о}$), який характеризує її толерантність до пестицидного навантаження.

Розподіл території України на зони ілюструє рис. 13.2. Зональні значення індексів $I_{с.о}$ наведено нижче.

1. Поліська зона дерново-підзолистих типових і оглеєних ґрунтів 0,5
2. Лісостепова зона чорноземів типових і сірих лісових опідзолених ґрунтів
   - 2.1. Західна, центральна, лівобережна низинні провінції 0,6
   - 2.2. Лівобережна висока провінція
     - 2.2.1. Північно-західна підпровінція 0,7
     - 2.2.2. Східна підпровінція 0,55
3. Степова зона чорноземів звичайних і південних
   - 3.1. Дністровсько-Дніпровська провінція 0,5
   - 3.2. Дніпровсько-Донецька провінція 0,3
   - 3.3. Донецька провінція 0,4
   - 3.4. Азово-Причорноморська провінція 0,3
   - 3.5. Кримська провінція 0,3
4. Сухостепова зона темно-каштанових і каштанових ґрунтів 0,2
5. Зона буроземних ґрунтів Українських Карпат
   - 5.1. Передгірна провінція бурувато-підзолистих поверхнево оглеєних ґрунтів 0,75
   - 5.2. Закарпатська низинна провінція лучно-буроземних оглеєних ґрунтів 0,78



Рис. 13.2. Агроекотоксикологічне районування території України
(за В.П. Васильєвим та ін.):

I — Полісся; II — Лісостеп; III — Степ; IV — сухостепова зона; V — Українські Карпати; 1 – 9 — провінції; 1 — західна, центральна, лівобережна низинна; 2 — лівобережна висока (а — північно-західна, б — східна підпровінції); 3 — Дністровсько-Дніпровська; 4 — Дніпровсько-Донецька; 5 — Донецька; 6 — Азово-Причорноморська; 7 — Кримська; 8 — передгірна; 9 — Закарпатська низинна

4. Визначають *інтегральний показник V:*

$$V = \frac{Д_{ект}}{CI_{с.о}}.$$

5. Розраховують *агроекотоксикологічний індекс* (АЕТІ):

$$\text{АЕТІ} = \frac{10V(1+V)^3}{(1+V)^4 + 5000}.$$

За значення АЕТІ до 1 забруднення навколишнього середовища пестицидами малонебезпечне, від 1 до 4 — середньонебезпечне, від 4 до 7 — підвищено небезпечне, від 7 до 10 — високонебезпечне. Планувати застосування пестицидів треба так, щоб значення АЕТІ

не перевищувало 1. За AETI > 1 обов'язково проводять контроль вмісту залишкових кількостей пестицидів у продукції, ґрунті, воді.

Агроекологічну оцінку пестицидів можна встановлювати й за такими показниками:

1) *коефіцієнтом вибірковості дії* (КВД):

$$КВД = \frac{ЛД_{50}}{Д}$$

($ЛД_{50}$ — мг/кг, Д — кг/га діючої речовини);

2) *коефіцієнтом екологічного навантаження* (КЕН):

$$КЕН = \frac{Д}{ЛД_{50}}.$$

Чим більше значення КВД і менше КЕН, тим прийнятніші пестициди.

Заходи щодо зменшення пестицидного навантаження на агроекосистему. Зменшити небезпечні наслідки застосування хімічного методу захисту рослин можна раціональним поєднанням його з іншими методами. Сучасний підхід передбачає насамперед керування чисельністю популяцій шкідливих організмів, а не їх знищення.

Інтегрований захист рослин — це комплексне застосування методів для довгострокового регулювання розвитку й поширення шкідливих організмів до невідчутного господарського рівня на основі прогнозу економічного порогу шкодочинності, дії корисних організмів, енергозберігаючих і природоохоронних технологій, які забезпечать надійний захист рослин та екологічну рівновагу довкілля (закон України «Про захист рослин»).

У закордонній літературі як синонім дедалі частіше застосовують термін *«pest management» — «керування популяціями шкідників».*

Головні принципи інтегрованого захисту рослин

1. Вжиття винищувальних заходів проти шкідливих організмів лише в разі перевищення ними чисельності *економічного порогу шкодочинності* (ЕПШ), під яким розуміють щільність популяції шкідника чи ступінь забур'яненості посівів, за якого витрати на боротьбу з ними окуповуються збереженим урожаєм.

2. Урахування чисельності природних стримувальних чинників (корисних організмів).

3. Урахування просторового розподілу шкідливих організмів.

4. Висока агротехніка вирощування сортів сільськогосподарських культур, стійких до хвороб і шкідників.

Хімічний метод захисту рослин треба застосовувати згідно з цими принципами.

Додатково можна виділити й інші принципи і напрями підвищення безпечності хімічного методу захисту рослин, зменшення пестицидного навантаження на агроекосистему.

1. Удосконалення асортименту пестицидів і застосування тих, які характеризуються:

- невисокою токсичністю для людини, теплокровних тварин, корисних організмів;
- відсутністю різко виражених кумулятивних властивостей, канцерогенності, мутагенності, ембріогенності, тератогенності, алергенності;
- низькою стійкістю (персистентністю) в об'єктах навколишнього середовища;
- високою ефективністю проти шкідливих організмів, системною дією.

2. Вибір оптимальних способів застосування пестицидів:

- протруєння насіння і садивного матеріалу;
- пневмомеханічне розпилювання (зниження дози до 50 %);
- обприскування полімерними препаратами (зниження дози до 20 – 50 %);
- малооб'ємне (МО) та ультрамалооб'ємне (УМО) обприскування; норми витрат робочої рідини за МО становлять:

для польових культур із застосуванням штангових обприскувачів — 80 – 135 л/га, вентиляторних — 5 – 50 л/га;
ягідників і винограду — 200 л/га;
садів — 250 – 500 л/га;
за УМО норма витрати робочої рідини 0,5 – 2 л/га;

- смугове і стрічкове внесення.

Проти комах і кліщів доцільно чергувати препарати з різним механізмом дії, щоб запобігти виведенню стійких популяцій і необхідності додаткових обробок.

3. Суворе дотримання регламентів (сукупності вимог) *зберігання, транспортування та застосування* пестицидів.

Пестициди потребують спеціальних умов транспортування, виконання навантажувально-розвантажувальних робіт і зберігання. Особливість цих процесів визначається належністю пестицидів до одного з класів речовин:

1) легкозаймисті рідини (ЛЗР);

2) легкозаймисті речовини та матеріали (ЛЗМ);

3) речовини, що окиснюються (ОР) й органічні пероксиди (ОП);

4) токсичні речовини (ТР), їдкі та корозійні речовини (ЇР), інші небезпечні речовини.

Зберігати пестициди можна тільки в спеціально призначених для цього складах, що відповідають СНиП 11-108–78 «Склады сухих минеральных удобрений и химических средств защиты растений» та «Нормам технологического проектирования складов твердых минеральных удобрений и пестицидов для хозяйств и пунктов химизации» (1981 р.).

Склади бувають *базовими* (приколійні, пришосейні, районні, міжгосподарські) та *витратними* (господарств, тваринницьких і птахівницьких комплексів та ін.). На базових складах для зберігання пестицидів обладнують ізольовані приміщення.

Залежно від місткості базових складів встановлено таку ширину санітарно-захисних зон, м: до 20 т — 200, від 20 до 50 т — 300, від 50 до 100 т — 400, від 100 до 300 т — 500, від 300 до 500 т — 700, понад 500 т — 1000. Ширина санітарно-захисних зон витратних складів має бути не меншою за 200 м. Майданчик для будівництва базового складу повинен мати відносно рівну поверхню з невеликим нахилом для відведення поверхневого стоку й запобігання забрудненню поверхневих і підземних вод. Глибина залягання ґрунтових вод на такій ділянці має бути не меншою за 1,5 м.

На витратних складах пестицидів мінеральні добрива слід зберігати в окремих приміщеннях. В них передбачається влаштування розчинозаправного вузла, майданчиків для протруювання насіння, знезараження тари, апаратури, засобів механізації, призначених для обробки тваринницьких і птахівницьких комплексів. Майданчики повинні мати асфальтове або бетонне покриття. Відстань між складом пестицидів, майданчиком для протруювання насіння, приміщенням для зберігання протруєного насіння, розчинозаправним вузлом, будівлями адміністративного і побутового призначення має бути не меншою як 50 м.

Зберігати пестициди на складі можна тільки після огляду приміщень органами санітарно-епідеміологічної служби та охорони навколишнього середовища і складання паспорта. Такі перевірки проводять щорічно.

Пестициди, які входять до переліку небезпечних вантажів, *транспортують* з урахуванням їх належності до відповідних груп:

1) високого ступеня небезпечності (група пакування 1) — вантажі в сталевих барабанах, бочках, спеціальних контейнерах;

- середнього ступеня небезпечності (група пакування 2) — вантажі в тарі з полімерних матеріалів, дерев'яних ящиках;
- низького ступеня небезпечності (група пакування 3) — вантажі в паперових мішках, картонних ящиках.

Пестициди перевозять тільки спеціально призначеними для цих цілей транспортними засобами. Вони мають бути упаковані в завод-

ську або спеціальну міцну і добре закриту тару. Перевозити пестициди з іншими вантажами забороняється. Знезаражують транспортні засоби після перевезення пестицидів на спеціальних пунктах, і лише після цього ними можна перевозити інші вантажі крім харчових продуктів, фуражу і питної води.

Автомобільний транспорт для перевезення пестицидів підлягає паспортизації санітарно-епідеміологічною службою, він має бути справним і знезараженим, мати сигнальне забарвлення кузова і бортовий напис «Отрута». Швидкість руху транспортного засобу, що перевозить пестициди, не повинна перевищувати 40 км/год, а в разі дощу, туману чи снігопаду — 20 км/год. Забороняється перевозити пестициди за видимості до 300 м.

Застосування пестицидів. Населення, санітарно-епідеміологічна, ветеринарна служби, органи рибоохорони мають бути завчасно проінформовані про проведення хімічних обробок.

У період виконання робіт у радіусі 200 м від меж ділянок, які обробляються, мають бути попереджувальні написи. Тимчасово зберігати пестициди дозволено на спеціально виділених ділянках, які охороняються. Заборонено влаштовувати заправні майданчики, місця очищення техніки у водоохоронній зоні рибогосподарських водойм і ближче як за 200 м від місць проживання людей, тваринницьких ферм, водних джерел, місць концентрування тварин, бджіл.

Машини й апарати, призначені для застосування пестицидів, мають знаходитись у спеціально відведених місцях під накриттям або в приміщеннях. Виготовляти розчини і заправляти апаратуру треба в стаціонарних розчинових вузлах або пунктах, які мають тверде покриття і спеціальні бетоновані резервуари для збирання забрудненої води. Готувати розчини пестицидів безпосередньо в полі без засобів механізації заборонено. Забруднені пестицидами ґрунт, машини, апаратура, тара з-під пестицидів і протруєного насіння, невикористані робочі розчини, стічні води і засоби індивідуального захисту підлягають знезараженню.

Авіаційна обробка рослин пестицидами здійснюється на робочій висоті 3 – 4 м у ранкові та вечірні години за швидкості вітру не більш як 3 м/с (дрібнокраплинне обприскування) і 4 м/с (великокраплинне) й температури повітря не вище за +22 °С. Наземне обприскування з використанням вентиляторних обприскувачів обмежується такими ж швидкостями вітру, штангових — при дрібно- і великокраплинному обприскуванні — 3 м/с. Відстань від населених пунктів, тваринницьких комплексів, місць виконання ручних робіт на посівах сільськогосподарських культур, водойм і місць відпочинку в разі застосування вентиляторних обприскувачів має бути не меншою як 600 м, штангових — не меншою як 300 м. За аерозоль-

ного способу застосування пестицидів ширина санітарно-захисної зони визначається дисперсністю крапель, а обробка посівів у цій зоні допускається за напрямку вітру від об'єкта, для якого вона встановлена. Для тепличних господарств ширина санітарно-захисної зони становить 300 м.

Вносити пестициди в ґрунт треба тільки за допомогою спеціальної апаратури. Для внесення гранульованих пестицидів заборонено використовувати туковисівні пристрої.

Обробляти пестицидами овочеві культури, продукція яких споживається у сирому вигляді, не дозволяється; дозволяється обробка їх насіння та ґрунту до появи сходів.

Навколо обробленої ділянки встановлюють попереджувальні знаки. Пасіки відвозять на відстань не менш як 5 км або ізолюють на регламентований термін.

Охорона поверхневих і підземних вод від забруднення пестицидами. Для запобігання забрудненню поверхневих вод, які використовують для централізованого господарсько-питного водопостачання, встановлюють зони санітарної охорони. В них, а також у прибережних водоохоронних зонах і на затоплюваних територіях, згідно з ГОСТ 17.1.3.04–82, не допускається:

- зберігання і поховання пестицидів і забрудненої ними тари;
- спорудження приміщень для миття та очищення тари, спецодягу, машин і обладнання, забруднених пестицидами;
- зливання й очищення стічних вод, які містять пестициди;
- зберігання і ремонт обладнання для застосування пестицидів;
- влаштування й експлуатація злітно-посадкових смуг і майданчиків для заправляння обладнання пестицидами.

Транспортувати пестициди від місця зберігання до місця застосування дозволяється лише при безпосередньому їх використанні, у спеціально обладнаному транспорті. Після закінчення обробки рештки пестицидів треба вивезти для зберігання або ліквідації.

Не допускається застосування пестицидів, яке перешкоджає чи обмежує всі види водокористування, а також шкідливо впливає на навколишню флору і фауну. Внаслідок сільськогосподарського зрошення в поверхневі води не повинні потрапляти зворотні води, концентрація пестицидів у яких перевищує норму.

У прибережній водоохоронній зоні не допускається застосування пестицидів, небезпечних для гідробіонтів. Забороняється внесення пестицидів у перший смузі зони санітарної охорони джерел централізованого господарсько-питного водопостачання

Авіарозпилення пестицидів не допускається у внутрішній і проміжній смугах зони санітарної охорони джерел централізованого

господарсько-питного водопостачання й обмежується в прибережних водоохоронних зонах і на затоплюваних територіях.

Неприпустимо скидати у водні об'єкти пестициди, їх рештки і відходи, пакувальні матеріали і стічні води, забруднені пестицидами, мити забруднені пестицидами тару, спецодяг, машини і обладнання в поверхневих водах, набирати воду забрудненим обладнанням.

Санітарно-захисну зону узгоджують з водоохоронною зоною.

У разі наземного обприскування посівів пестицидами ширина санітарно-захисної зони (від меж оброблюваних ділянок до водних джерел) має становити 600 м, за авіаобприскування — 1000 м (до рибогосподарських водойм — 2000 м), за внесення гранульованих препаратів — 300 м. За потреби органи санітарно-епідеміологічної служби можуть збільшувати санітарно-захисну зону у 2 – 3 рази. Ширина прибережної водоохоронної смуги малих річок — від 20 до 100 м; застосування пестицидів у ній забороняється.

Охорона атмосферного повітря. Відповідно до «Методичних рекомендацій по санітарній охороні атмосферного повітря від забруднення пестицидами» (МОЗ України, 1998) заборонено:

- звичайне авіаційне обприскування ближче як 1000 м від житлової зони, а ультрамалооб'ємне авіаобприскування — ближче як 2000 м;
- одночасна обробка посівів однотипними препаратами у межах району чи області.

Застосування пестицидів, стійких у ґрунті понад 1 міс, а у воді — 5 діб, слід обмежувати на територіях великих господарств. Великі масиви культур, які обробляють багаторазово, рекомендується розміщувати з урахуванням рози вітрів на відстані не менш як 1000 м від населених пунктів, а поблизу них вирощувати на невеликих площах культури, які не потребують багаторазових обробок. Доцільним є використання різних добавок у робочі розчини для зменшення випаровування й розпилення, гранул, мікрокапсул, урізноманітнення асортименту препаратів.

Охорона ґрунту. Заборонена фумігація ґрунту пестицидами I і II класів небезпечності, виливання решток робочих розчинів, промивних вод після обробки тари, спецодягу, апаратури і приміщень складів без попереднього очищення, використання більш як 2 рази протягом одного сезону пестицидів зі стійкістю в ґрунті менш як 6 міс, а пестицидів, стійких понад 6 міс, — за наявності їхніх решток після попередніх обробок. Рекомендовані способи застосування пестицидів — малооб'ємне та ультрамалооб'ємне обприскування, протруювання насіння.

13.2. Раціональне використання агрохімікатів

Добрива та хімічні меліоранти як чинник екологічної загрози. Негативний вплив агрохімікатів (добрив, хімічних меліорантів) на навколишнє середовище в основному полягає у:

- погіршенні властивостей і зниженні родючості ґрунту;
- забрудненні підземних і поверхневих вод, повітря хімічними елементами та сполуками;
- зниженні якості продукції (складу органічних речовин, зольних елементів, накопиченні нітратів і нітритів, погіршенні смакових якостей).

Все це в кінцевому підсумку позначається на здоров'ї людини.

Погіршення властивостей ґрунту виявляється у зміні реакції ґрунтового розчину, складу ґрунтового вбирного комплексу, умов життєдіяльності корисних тварин і мікроорганізмів, накопиченні токсичних речовин, що є одним із чинників, який визначає забруднення води й повітря. На інших причинах цього забруднення і заходах протидії їм слід зупинитися детальніше.

Забруднення води — надходження у водний об'єкт фізичних, хімічних, біологічних речовин або енергії, що спричинює погіршення якості води.

Евтрофування води — підвищення біологічної продуктивності водних об'єктів унаслідок накопичення у воді біогенних елементів під дією антропогенних чи природних чинників. Одним із проявів евтрофування є *цвітіння води* — масовий розвиток фітопланктону, що змінює її забарвлення. Результатом евтрофування є значне зменшення вмісту у воді кисню, що згубно позначається на рибах та якості води, яка стає непридатною навіть для купання. Основними біогенними елементами, які призводять до цих змін, є азот у нітратній формі, фосфор і меншою мірою — калій.

Оптимальною для водяних рослинних організмів є концентрація нітратів у воді 0,9 – 3,5 мг/л, фосфору — 0,09 – 1,80 мг/л. Для людини допустимий вміст нітратів у питній воді — 45 мг/л, а нешкідливий вміст поліфосфатів — до 7 мг/л, при цьому небезпечним вважають співвідношення фосфору і калію за межами 1 : 1…1,5.

Якщо підвищена кількість біогенних елементів перестане надходити у водний об'єкт, він може повернутися у вихідний стан.

Біогенні елементи надходять у водотоки (річки, струмки) та водойми (озера, ставки тощо) з поверхневим стоком із сільськогосподарських угідь інфільтрацією з ґрунту та зі зворотною водою.

Води зворотні — води, що повертаються за допомогою технічних споруд і засобів із господарської ланки колообігу води до його природних ланок у вигляді дренажних, скидних і стічних вод.

Води дренажні — води, які профільтрувалися у дренаж з тіла гідротехнічної споруди або її основи, а також з осушуваного (зрошуваного) земельного масиву.

Води скидні — води, які відводять зі зрошуваних сільськогосподарських угідь та забудованих поливних територій, а також води, які відводять з ділянок, де застосовується гідромеханізація.

Води стічні — різновид зворотних вод, що утворилися у процесах господарсько-побутової і виробничої діяльності, а також під час відведення із забудованих територій вод, які утворюються внаслідок випадання атмосферних опадів.

Переважна частина азоту, який надходить у водні об'єкти (понад 80 %), — це азот ґрунту, а не мінеральних добрив. Фосфор малорухливий у ґрунті і втрачається переважно не з поверхневим стоком, а в результаті ерозії ґрунту. Калій в основному вимивається з ґрунту.

Забруднення атмосфери в разі застосування добрив зумовлене в основному надходженням сполук азоту, фосфору і сірки. ГДК аміаку в повітрі робочої зони виробничих приміщень становить 20 мг/м^3, хлориду калію — 10 мг/м^3. Основне забруднення повітря азотом відбувається за рахунок втрат його газоподібних сполук (NH_3, N_2O, N_2 та ін.) з ґрунту та добрив. Причинами цього можуть бути як порушення правил зберігання й застосування органічних добрив (зокрема, безпідстилкового гною, гнойових стоків), внесення безводного аміаку та аміачної води, так і природні процеси, що відбуваються в ґрунті, — амоніфікація, денітрифікація (до 30 % азоту мінеральних добрив), взаємодія азотних добрив з карбонатами тощо.

Причини погіршення властивостей ґрунту, забруднення вод і повітря пов'язані із застосуванням агрохімікатів. Основними з них є такі:

- недосконалість технологій транспортування, зберігання, підготовки і внесення добрив, хімічних меліорантів, слабка матеріально-технічна база;
- недостатній науковий рівень системи удобрення в сівозміні, порушення технологічної дисципліни;
- недосконалість властивостей добрив і хімічних меліорантів;
- використання як добрив промислових і побутових відходів з підвищеним вмістом шкідливих речовин.

Недосконалість технологій транспортування, зберігання, підготовки і внесення добрив та хімічних меліорантів, слабка матеріально-технічна база. Недостатня кількість спеціалізованих транспортних засобів, застосування перевалочної схеми доставки мінеральних добрив і хімічних меліорантів від заводу до складу і поля, перевезення і зберігання їх незатареними призводить до втрат внаслідок знесення вітром чи змивання водою.

Проблеми створює і недостатня місткість типових сховищ, які відповідають вимогам природоохоронних нормативів щодо розміщення й обладнання з урахуванням відстані до водних об'єктів, населених пунктів та тваринницьких приміщень, гідрологічних умов, рози вітрів, механізації навантажувально-розвантажувальних робіт, технології підготовки добрив до внесення (подрібнення, змішування).

Несприятливими чинниками є також велика нерівномірність розкидного внесення агрохімікатів існуючими машинами (не повинна перевищувати 15 %), низька забезпеченість машинами для внутрішньоґрунтового внесення твердих і рідких мінеральних добрив.

Основним заходом, спрямованим на зменшення негативних наслідків, пов'язаних із названими причинами, може стати застосування контейнерної технології доставки агрохімікатів, змішувачів, розтарювачів-змішувачів, автомобільних транспортувальників. Особливу увагу слід приділяти можливим технологічним проблемам при заготівлі, приготуванні та внесенні органічних добрив. Недосконаліть систем видалення гною та техніки для рівномірного його внесення, недостатні місткість сховищ органічних добрив, розрахованих на зберігання їх протягом 6 міс, та площа полів зрошення для використання гнойових стоків, неналежна увага, яку приділяють компостуванню, — ось головні причини забруднення вод і повітря й одночасно орієнтири для поліпшення екологічної ситуації.

Недостатній науковий рівень системи удобрення в сівозміні, порушення технологічної дисципліни. Норми мінеральних добрив треба визначати з урахуванням якомога більшої кількості чинників — вмісту в ґрунті доступних рослинам форм елементів живлення, попередника, норм органічних добрив, гранулометричного складу ґрунту, рельєфу та ін.

Внесення високих норм азотних добрив, що перевищують у середньому 120 кг/га діючої речовини, може призвести до забруднення вод нітратами. Восени не дозволяється вносити добрива, що містять азот у нітратній формі, оскільки внаслідок їх великої рухливості й низького споживання рослинами основні втрати відбуваються в зимовий період. Кращими для цього є амонійні добрива. На ґрунтах легкого гранулометричного складу слід відмовитися від осіннього застосування азотних добрив. Дробне внесення добрив у період, коли рослини найбільше потребують азоту, зменшує його вимивання з ґрунту.

Втрати добрив із поверхневим стоком істотно знижуються в разі загортання їх у ґрунт. Цьому ж сприяє розкидання по полю органічних решток, особливо соломи. Оскільки вегетуючі рослини перехоплюють мінеральний азот, зменшуючи його втрати, то застосуванням

проміжних та ущільнених посівів, вирощуванням багаторічних трав можна не тільки поліпшити його використання, а й знизити забруднення вод і повітря.

Неправильне співвідношення елементів живлення може призвести до обмеження споживання рослинами азоту у зв'язку з лімітуванням їх росту іншими елементами. Оптимізація чинників та умов середовища забезпечує підвищення інтенсивності продукційного процесу, опосередковано впливає на чистоту води й повітря.

Застосування інгібіторів нітрифікації зменшує втрати нітратного азоту, які можливі внаслідок поверхневого і внутрішньоґрунтового стоку.

Внесення органічних добрив навесні, особливо на ґрунтах легкого гранулометричного складу, є причиною забруднення вод і повітря, тому бажано цей процес здійснювати восени. Безпідстилковий гній, який вносять восени, треба поєднувати із соломою та зеленою масою проміжних культур.

Як уже зазначалося, втрати калію й особливо фосфору, внесених з мінеральними добривами, за рахунок вимивання порівняно невеликі й усуваються простим дотриманням норм, строків і способів застосування добрив.

Недосконалість властивостей добрив і хімічних меліорантів. Неналежні властивості згаданих речовин обумовлені:

- високою розчинністю та здатністю їхніх складових мігрувати в ґрунті або змиватися поверхневим стоком;
- вмістом у них речовин, які зміщують реакцію ґрунтового розчину;
- наявності в складі добрив баластних і токсичних речовин.

Висока рухливість нітратів спричинює підвищений ризик забруднення вод. Внаслідок денітрифікації азот добрив може втрачатися у газуватому стані. В разі внесення амонійних та аміачних добрив може виділятися вільний аміак. Шляхи регулювання процесів перетворення сполук азоту в ґрунті з метою зменшення забруднення довкілля висвітлені вище.

Запобігти втратам калію можна внесенням добрив з урахуванням гранулометричного складу ґрунту та потреб у ньому рослин, а також планомірним збільшенням обмінної вбирної здатності ґрунту.

Для сповільнення розчинення добрив у ґрунті їх гранулюють, вкривають плівками (крім тих, ефективність яких визначається площею контакту з ґрунтом, — преципітату, фосфоритного борошна, вапнякових).

Азотні та фосфорні добрива містять залишкові кількості кислот, що пов'язано зі специфікою їх виробництва. Крім того, підкислення ґрунту при систематичному внесенні азотних і калійних добрив зумовлене вибірковим поглинанням елементів живлення рослинами, що можна вважати недоліком добрив лише умовно. Найдієвішим компенсувальним заходом є вапнування ґрунтів.

З мінеральними добривами в ґрунт потрапляють елементи, які спричинюють погіршення його властивостей та якості продукції, — баластні (фтор, натрій тощо), токсичні — важкі метали (ртуть, свинець, кадмій), арсен. Рухомі їх форми можуть потрапляти у водні об'єкти.

Фтор негативно впливає на мікробіологічну активність ґрунту, порушує розвиток плодів. У сировині для виробництва фосфорних добрив — апатитах і фосфоритах — його вміст близько 3 %, причому в кінцевому продукті залишається більш як половина.

Арсен надходить з азотними і фосфорними добривами, кадмій — із фосфорними й органічними, свинець — з вапняковими та органічними. До перевищення ГДК рухомих форм важких металів у ґрунті може призвести тривале (протягом десятків років) внесення добрив. І хоча їх частка у забрудненні навколишнього середовища порівняно з промисловими та транспортними викидами невелика, за можливості слід вибирати добрива з якомога меншим вмістом цих елементів.

Вапнуванням знижують токсичність кадмію і свинцю. Збільшення вмісту гумусу та вбирної здатності ґрунту сприяє зв'язуванню важких металів і зменшенню їх вимивання.

Використання як добрив промислових і побутових відходів з підвищеним вмістом шкідливих речовин. Систематичне застосування *піритних недогарків* може призвести до накопичення в ґрунті підвищених кількостей свинцю, міді, цинку, арсену, сірки, *фосфогіпсу* — фтору, стронцію, *стічних вод* і *сапропелю* — кадмію, що створює небезпеку їх вимивання в поверхневі води.

Стічні води потрібно попередньо очищувати від шкідливих речовин, знезаражувати від хвороботворних мікроорганізмів на очисних спорудах, полях зрошення і фільтрації, біологічних ставах.

Поля зрошення — це земельні ділянки, спеціально підготовлені для очищення стічних вод зрошенням з одночасним фільтруванням їх крізь ґрунт.

Поля фільтрації — земельні ділянки на ґрунтах легкого гранулометричних складу, які використовують як елемент очисних споруд для біологічного очищення стічних вод просоченням їх крізь ґрунт.

Охорона вод від забруднення мінеральними добривами. У водні об'єкти добрива можуть потрапляти з поверхневим стоком, під час інфільтрації в підземні води, з колекторно-дренажними водами зрошуваних чи осушуваних масивів, з повітря, зі стічними водами підприємств, які виробляють добрива, а також при очищенні та митті тари й спецодягу, машин, обладнання, скиданні у водні об'єкти решток добрив та пакувальної тари. Основні вимоги щодо охорони вод від забруднення мінеральними добривами встановлені ГОСТ 17.1.3.11–84, згідно з яким не допускається:

♦ внесення мінеральних добрив на замерзлий або вкритий снігом ґрунт; авіарозпиленням за швидкості вітру понад 10 м/с; з поливною водою, якщо її скидання у водні об'єкти спричинює забруднення вод;

♦ миття у водних об'єктах тари, машин і обладнання, забруднених добривами; процес очищення можна здійснювати на спеціальних мийних майданчиках, а стічні води збирати, використовувати для удобрення, перед скиданням у водні об'єкти — очищувати.

У *першій смузі зони санітарної охорони* заборонено всі способи внесення добрив.

У *першій і другій смугах зони санітарної охорони* джерел централізованого господарсько-питного водопостачання, *в прибережних водоохоронних зонах,* а також *на затоплюваних територіях* не допускається:

♦ знищення тари з-під добрив;

♦ очищення, миття тари, машин і обладнання, які застосовуються для транспортування та внесення добрив.

У другій смузі зони санітарної охорони не допускається:

♦ внесення добрив у період безпосередньої загрози повені;

♦ авіарозпилення добрив.

При зберіганні добрив має бути виключена небезпека забруднення ними поверхневих і підземних вод. Місця зберігання не повинні затоплюватись. Води, що стікають з майданчиків, складських приміщень, мають збиратися у водонепроникні збірники й використовуватись для удобрення сільськогосподарських угідь.

Заходи запобігання нітратному забрудненню продукції рослинництва. Зі зростанням обсягів застосування азотних добрив пов'язана така важлива проблема, як підвищення забруднення харчових продуктів і питної води нітратами та нітритами. Це певною мірою справедливо, хоча питання про чинники забруднення і заходи щодо його зменшення потребують ширшого розгляду.

Нітрати значно поширені в природі, вони містяться в ґрунті, воді, рослинах, організмах тварин і людини. Азот з усіх форм, в яких він існує в ґрунті, може переходити в нітратну: з аміачної, яка утворюється в результаті амоніфікації органічних сполук, під впливом бактерій групи Nitrosomonas він переходить у нітритну, а під впливом Nitrobacter — в нітратну форму. Нітрати дуже рухливі в ґрунті, майже не адсорбуються ґрунтовим вбирним комплексом і можуть вимиватись у поверхневі й інфільтруватися в ґрунтові води. Нітрати також здатні відновлюватись до газуватих продуктів — N_2O, N_2, NO, NO_2 в результаті денітрифікації і втрачатися з ґрунту.

Рослини поглинають азот у різних формах: нітратній, нітритній, аміачній, амідній або вільній молекулярній (бобові рослини), однак у синтезі амінокислот під час взаємодії з органічними кислотами може брати участь лише аміак NH_3 (реакція амінування), який Д.М. Прянишников назвав «альфою й омегою» азотистого обміну. Вільний амоній у рослинах накопичується в обмеженій кількості, інакше відбувалося б так зване аміачне отруєння, тоді як від надлишку нітратів і нітритів рослини не страждають. Цим і пояснюється здатність рослин накопичувати їх у значній кількості. В рослинах нітрати і нітрити під дією нітратредуктази і нітритредуктази відновлюються до NH_3 (редукція).

В організми людини і тварин нітрати надходять з продуктами харчування, кормами, водою. Шкідливий вплив нітратів і нітритів (останні в 10 разів токсичніші) полягає в тому, що вони спричинюють перетворення гемоглобіну крові на метгемоглобін, який не здатний переносити кисень. Настає кисневе голодування тканин — гіпоксія, причому зміни найбільш виражені в тканинах, де відбувається інтенсивний поділ клітин. Саме тому нітрати особливо небезпечні для дітей, ембріонів. Дуже чутливі до нітратів хворі люди. Не менш небезпечним є і те, що нітрати й нітрити є попередниками N-нітрозосполук (нітрозоамінів і нітрозоамідів) — канцерогенних, тератогенних, мутагенних, ембріогенних речовин. Утворюються вони внаслідок взаємодії нітратів і нітритів з амінами, амідами, сечовиною, деякими іншими сполуками як у харчових продуктах, так і в шлунку.

Нагадаємо, що нітрати вважають забрудниками продуктів харчування і води умовно, оскільки вони, як уже зазначалось, дуже поширені в природі.

Нітрати питної води токсичніші за нітрати харчових продуктів в 1,25 раза. Продукти тваринництва, особливо м'ясо, містять невелику кількість нітратів порівняно з рослинною продукцією.

При визначенні допустимого вмісту нітратів у харчових продуктах і воді орієнтиром слугує допустима добова доза нітратів (ДДД). У нашій країні вона становить 5 мг NO_3^-/кг маси тіла. Гранично допустима концентрація нітратів у питній воді — 45 мг/л за середньої норми її споживання 2 л на добу. Допустимі концентрації нітратів в окремих продуктах харчування встановлюють з урахуванням їх середньодушового споживання за добу в конкретних районах, фонового рівня нітратів у продуктах (табл. 13.4).

При нормуванні вмісту нітратів у кормах виходять із того, що ДДД для великої рогатої худоби становить 40 – 60 мг/кг живої маси, свиней і птиці —30 – 40 мг/кг.

Таблиця 13.4. **Допустимий вміст нітратів у продуктах рослинного походження в Україні,** мг/кг сирої маси продукту

Культура	Ґрунт		Культура	Ґрунт	
	зідкри тий	захи-щенні		зідкри тий	захи-щенні
Картопля			Цибуля-порей	400	800
рання	240		Цибуля городня	90	
пізня	120		Томати	100	200
Овочі листкові			Перець солодкий	200	
і салатні	1500	3000	Огірки	200	400
Капуста білоголова			Кабачки	400	
рання	800		Баклажани	300	
пізня	400		Дині	90	
Морква			Кавуни	60	
рання	600		Буряки столові	1400	
пізня	300		Редис	1200	

Гранично допустимий вміст нітратів у кормах такий, мг/кг:
сіно — 1000;
сінаж і силос — 500;
зелені корми — 300;
зернофураж — 500;
трав'яне борошно — 2000;
кормові буряки — 1500.

Дані табл. 13.4 дають уявлення про здатність різних овочевих і баштанних культур до накопичення нітратів. Порівняно небагато нітратів міститься в картоплі, томатах, городній цибулі, баштанних культурах (динях, кавунах), найбільше їх накопичують зеленні овочі (петрушка, кріп, салат тощо) і столові коренеплоди (буряки, морква, редис). Огірки, кабачки, солодкий перець характеризуються середнім вмістом нітратів. Порівняно небагато нітратів накопичують фрукти та ягоди. Отже, біологічні особливості рослин — один із чинників, що визначає нітратне забруднення продукції.

Вагомим чинником підвищеного накопичення нітратів у продукції рослинництва, який часто вважають головним, є порушення норм і правил застосування азотних добрив, а саме:

- перевищення норм внесення, рекомендованих зональними науково-дослідними установами для відповідних ґрунтово-кліматичних умов;
- віддавання переваги добривам, в яких азот знаходиться у нітратній формі;
- внесення добрив без урахування вмісту в ґрунті мінерального азоту;
- проведення пізніх азотних підживлень.

Ґрунтові властивості та умови є одним із чинників забруднення рослин нітратами. Відомо, що за нейтральної реакції ґрунтового

розчину рослини краще поглинають NH_4^+, за кислої — NO_3^-. В разі внесення фізіологічно кислих добрив кислотність ґрунту підвищується, що сприяє поглинанню NO_3^-.

Надмірно інтенсивний обробіток ґрунту теж призводить до збільшення забруднення продукції рослинництва нітратами. За цих умов спостерігаються підвищена мінералізація гумусу та інших азотовмісних органічних речовин ґрунту з вивільненням амонію й подальшим перетворенням його на нітрати, збільшення їх вмісту в ґрунті та посилене поглинання рослинами.

Одним із найважливіших чинників нітратного забруднення продукції є ступінь утилізації нітратів і нітритів у самих рослинах, що, в свою чергу, визначається інтенсивністю фотосинтетичної діяльності. Отже, всі чинники, що впливають на неї, а в кінцевому підсумку — на урожайність, одночасно визначають вміст нітратів у рослинах. Основні з них наведено нижче.

1. Рівень освітленості, або забезпеченість рослин ФАР. Недостатня освітленість рослин у теплицях може бути однією з причин підвищеного накопичення нітратів у вирощених там овочах. Загущення посівів польових культур, затінення рослин призводять до аналогічних результатів. Відомо також, що інтенсивність освітлення визначає активність нітратредуктази, яка відновлює нітрати до амонію.

2. Тепловий режим ґрунту і фітоценозу. Відхилення температури від оптимальної, тобто як надмірне зниження, так і підвищення її, спричинює збільшення забруднення рослин нітратами.

3. Водний режим ґрунту. Найнижчий вміст нітратів у продукції рослинництва спостерігається за оптимального забезпечення рослин вологою. І за нестачі, і за надлишку вологи накопичення нітратів збільшується.

4. Забезпеченість рослин елементами живлення та співвідношення між ними. Оптимальні вміст і співвідношення елементів живлення в ґрунті — один із чинників, що впливає на вміст нітратів у рослинах. Крім того, важливими є й окремі елементи. Так, від вмісту молібдену залежить нормальне відновлення нітратів до нітритів, від вмісту мангану — нітритів до амонію. Калій і магній поліпшують використання нітратів у самих рослинах (калій активує синтез вуглеводів, магній — збільшує вміст хлорофілу).

5. Кислотність ґрунтового розчину. Для кожної рослини існує оптимальний діапазон кислотності, який забезпечує найсприятливіші умови для фотосинтетичної діяльності.

6. Ураження рослин хворобами і шкідниками. Передчасне припинення фотосинтезу при ураженні чи пошкодженні вегетативної

маси призводить до зменшення утворення органічних кислот, недостатньої утилізації нітратів, які вже надійшли в рослину.

7. Вчасність виконання польових робіт. Передчасне або запізніле проведення сівби, робіт із догляду за посівами скорочує вегетаційний період, погіршує умови росту, що супроводжується зменшенням кількості синтезованих органічних речовин.

Поєднанням деяких із цих чинників пояснюють певні закономірності коливання вмісту нітратів у продукції рослинництва.

Так, біологічні особливості рослин зумовлюють найінтенсивніше поглинання мінерального азоту до їх цвітіння, а з вступом у генеративний період розвитку запас нітратів вичерпується в міру накопичення сухої речовини. Оскільки в ранніх сортах вміст сухої речовини нижчий і мінерального азоту зв'язується менше, то залишкова кількість нітратів у продукції вища, ніж у пізніх сортах. Подібно пояснюють і факт більшого вмісту нітратів у продукції, що споживається зеленою, порівняно з вмістом їх у плодах.

З урахуванням викладеного можна визначити основні заходи щодо запобігання підвищеному нітратному забрудненню продукції рослинництва.

1. Дотримання умов і регламентів застосування азотних добрив:

- визначення вмісту амонійного та нітратного азоту в ґрунті на початок вегетації рослин і внесення азотних добрив з урахуванням вмісту азоту;
- раціональне поєднання різних форм азотних добрив (амонійних, нітратних, амідних);
- урахування максимально допустимих норм азоту мінеральних добрив (табл. 13.5);
- коригування норм азотних добрив аж до повного їх виключення з урахуванням вмісту в ґрунті фосфору, калію, мікроелементів, кислотності ґрунту;
- визначення потреби в підживленнях, доз елементів живлення за даними ґрунтової та рослинної діагностики;
- підживлення культур азотними добривами дозою не більш як 15 – 20 кг/га діючої речовини не пізніше ніж за 1,5 – 2 міс до збирання врожаю, а саме:

  капусти білоголової — початок зав'язування головки;
  томатів — початок плодоутворення;
  баштанних культур — початок цвітіння;
  цибулі — початок формування цибулин;
  столових буряків, моркви, редьки, селери, пастернаку — початок утворення коренеплодів;

- локальне внесення (дає змогу зменшити дозу добрив удвічі без зниження врожаю).

Таблиця 13.5. **Максимально допустимі норми азоту мінеральних добрив під картоплю та овочеві культури в різних зонах України,** кг/га діючої речовини (за О.І. Циганенком)

Культура	Степ		Лісостеп		Полісся	
	Урожайність, ц/га	Норма добрива	Урожайність, ц/га	Норма добрива	Урожайність, ц/га	Норма добрива
Картопля						
без зрошення	—	—	300	110	300	110
зрошення	300	105	300	120	—	—
Капуста						
без зрошення	—	—	400	60 – 90	500	60 – 90
зрошення	600	90 – 140	600	60 – 120	600	90 – 120
Томати						
без зрошення	400	45 – 60	350	90	300	60 – 90
зрошення	600	120	400	120	—	—
Огірки						
без зрошення	—	—	250	60	500	45
зрошення	350	120	300	90	250	60
Морква	450	90	450	60 – 90	150	45 – 60
Цибуля						
без зрошення	200	45 – 60	200	45 – 60	150	45 – 60
зрошення	300	90	300	60 – 90	—	—
Столові буряки	500	60	400	45 – 60	450	45 – 60

Норми азотних добрив під картоплю на насіння для ранньо-, середньо- і пізньостиглих сортів не повинні перевищувати: на Поліссі — відповідно 60, 90 і 120 кг/га діючої речовини; в Лісостепу — 45, 70 і 100 кг/га діючої речовини.

Максимальні норми під ранні сорти картоплі й капусти не повинні перевищувати 45 – 50 кг/га діючої речовини На кислих торф'яних ґрунтах та на ґрунтах, багатих на азот, норми азоту добрив під картоплю й овочеві культури зменшують на 40 – 50 кг/га діючої речовини порівняно з наведеними у табл. 13.5.

У разі внесення органічних добрив норми мінеральних азотних добрив треба зменшувати, а при плануванні невисокого врожаю — взагалі не вносити. Під баштанні культури за врожаю менш як 150 ц/га на фоні органічних добрив азотні не застосовують, за врожаю 200 – 250 ц/га їх норма становить 60 кг/га в разі внесення органічних добрив і 90 кг/га діючої речовини — без внесення.

Під картоплю навесні не рекомендується вносити гній, особливо безпідстилковий. Заборонено використовувати під картоплю та овочі аміачну селітру і безводний аміак.

2. Забезпечення необхідного запасу в ґрунті обмінного калію, рухомих форм фосфору, мікроелементів за рахунок внесення органічних і мінеральних добрив, вжиття інших заходів (наприклад, боротьба з ерозією).

3. Створення оптимального для рослин кислотно-лужного середовища вапнуванням ґрунту, внесенням фізіологічно нейтральних або лужних добрив тощо.

4. Проведення щадного обробітку ґрунту з метою недопущення надмірної мінералізації азотовмісних органічних сполук.

5. Застосування інгібіторів нітрифікації.

6. Створення умов для високоінтенсивної фотосинтетичної діяльності та подовження періоду вегетації рослин:

- оптимізація водно-теплового й поживного режимів ґрунту;
- ефективний захист рослин від хвороб та шкідників;
- дотримання агротехнічних строків сівби;
- вирощування середньо- та пізньостиглих сортів і гібридів рослин та ін.

Надходження нітратів в організм людини з продукцією рослинництва можна зменшити, добираючи для харчування відповідні частини рослин. Найменший вміст нітратів у листках, дещо більший — у черешках і найбільший — у стеблах та коренях.

Переробкою продукції можна зменшити вміст нітратів. Так, механічним очищенням та промиванням видаляють 10 % нітратів. Вимочуванням картоплі, моркви, столових буряків упродовж 1 год знижують вміст нітратів на 25 – 30 %, а зеленних овочів (петрушки, кропу, селери, цибулі тощо) — на 20 %, що пояснюється високою розчинністю нітратів. Багато нітратів видаляється при відварюванні овочів: із картоплі — 80 %, з моркви і капусти — 60 – 70, з буряків — 40 – 50 %. Менш ефективними є тушкування, бланшування і смаження, за яких вміст нітратів знижується на 10 %.

Квашенням, солінням та маринуванням продукції вміст нітратів у готових продуктах знижують більш ніж удвічі.

За дотримання належних режимів тривалого зберігання картоплі та овочів (6 – 8 міс) вміст нітратів у них значно зменшується. У пошкодженій механічно та ураженій хворобами продукції нітрати можуть перетворюватися на нітрити.

Найістотнішим заходом щодо запобігання підвищеному забрудненню нітратами продукції тваринництва, особливо молока, є дотримання допустимого вмісту нітратів у питній воді та кормах.

13.3. Маловідходні і безвідходні технології

Види відходів у сільськогосподарському виробництві

Відходи — це речовини, матеріали і предмети, які утворюються у процесі людської діяльності, непридатні для подальшого використання за місцем утворення чи виявлення; власник відходів має намір або повинен позбутися їх (утилізувати чи видалити).

Відходи, з одного боку, можуть негативно впливати на живі й неживі об'єкти довкілля, а з іншого — слугувати вторинними матеріальними та енергетичними ресурсами для можливої утилізації.

Повна назва відходу складається з: номенклатурної назви відходу; уніфікованої назви процесу, в якому утворюється або виявлено відхід; уніфікованої назви виду економічної діяльності, в якій реалізовано цей процес.

Номенклатурна назва відходу відбиває стан і структуру відходів за місцем їх утворення або виявлення і відповідає конкретному різновиду відходів: стану відходу загалом та стану його компонентів; назві речовини, матеріалу, готового виробу чи іншій номенклатурній назві сировини або продукції; стану відходу як продукту процесу, в якому він утворюється.

Нижче наведено основні терміни та визначення, що відбивають конкретні види і стан відходів, які утворюються у процесі виробництва і переробки сільськогосподарської продукції.

Барда — рештки бродильного виробництва, з яких видалено леткі компоненти.

Вижимки (синоніми — *вичавки*, *макуха*) — рештки овочів, фруктів та іншої рослинної продукції після пресування.

Віск — жироподібна аморфна речовина, що складається з естерів вищих жирних кислот і одноатомних спиртів; залишається після переробки тваринних, рослинних і природних продуктів.

Гнильні рештки — продукти розкладання організмів, що містять азот (білки), під впливом мікроорганізмів.

Гній — екскременти тварин.

Гранулят — дрібні, щільні агрегати будь-якої речовини у вигляді зерен, які утворюються під час переходу речовини з рідкого стану у твердий або в інших процесах.

Екстракт — розчин певних компонентів, які виділено із суміші твердих або рідких речовин за допомогою селективних розчинників (екстрагентів).

Жом — рештки подрібнених коренеплодів після екстрагування цільового продукту.

Зола (*попіл*) — залишок після спалювання органічних речовин до мінералізованого стану.

Кісточки — тверді стрижневі частини (насіння) фруктів, овочів і ягід.

Компост (*перегній*) — продукт розкладання мікроорганізмами твердих сумішей органічного походження.

Костра — здерев'янілі частини стебел прядивних рослин (льону, конопель, кенафу та ін.), які отримують під час їхньої первинної обробки.

Лузга — здерев'янілий покрив насіння соняшнику, який відокремлюється під час його обрушування.

Лушпиння (*насіннєва оболонка*) — зовнішня покривна оболонка насіння і плодів, що залишається після лущення та обрушування насіння рослин.

Міздря — підшкірно-жирова клітковина, м'ясо, сало, шматки сухожилля, що видаляють зі шкур у підготовчих операціях.

Меляса (*кормова патока*) — концентрований розчин вуглеводів (переважно цукристих), з якого подальше вилучення цукру за звичайною технологічною схемою бурякоцукрового виробництва неможливе.

Насіння — зародкові часточки рослинної сировини, що переробляється.

Осад фільтраційний (*дефекат*) — залишковий продукт процесу очищення розчинів від завислих речовин (у крохмально-патоковому, цукровому виробництві).

Послід — екскременти птахів і дрібних тварин.

Сажа — продукт неповного згоряння або термічного розкладання органічних сполук.

Фільтрат — рідина, що виділяється твердими відходами під час їхнього зберігання (транспортування), або утворюється в спеціальних фільтраційних процесах.

Фус (*фуз*, *кубовий відстій*) — осад, що утворюється під час відстоювання рідких продуктів у тарі (гідрофус — у процесі гідратації олії).

Шкаралупа (лушпина) — тверде покриття яєць і плодів.

Шрот (*жмих*) — тверді рештки насіння олійних культур після вилучення з них олії екстракцією та пресуванням.

Загальний стан відходів відбивають такі терміни, як гель, емульсія, суспензія, золь, коагулят, паста, порошок, пил, розчин, суміш, смола та ін.

Для позначення відходів за *найменуванням процесу, в якому вони утворюються*, вживають додаткові терміни: брак, вибраковування, виділення, вижимка, викид, відпрацювання, відсів, відстій, залишок, конденсат, концентрат, накип, осад, осмол, пересортиця, продукт, продукти зношення, продукти корозії, просів, рециркулят, сублімація, фракція та ін.

Утворення відходів призводить до втрати частини цінних речовин, становить загрозу для навколишнього середовища, а їх збирання, перевезення, зберігання, переробка, утилізація, видалення, знешкодження, поховання, контроль за цими операціями, нагляд за місцями видалення потребують додаткових витрат. Переведення виробництва на безвідходні технології дає змогу раціональніше використовувати природні ресурси й підтримувати екологічну рівновагу.

Маловідходні і безвідходні технології в рослинництві і тваринництві

Безвідходна технологія — це сукупність технологічних процесів, які забезпечують роботу виробництва за замкненим циклом і повне використання в процесі виробництва вихідної сировини і побічної продукції (відходу).

Головним завданням і водночас змістом безвідходного виробництва є не стільки утилізація відходів, тобто використання їх як вторинних матеріальних, енергетичних ресурсів для отримання корисної продукції чи з іншою метою, як комплексна, максимально глибока переробка сировини і зменшення кількості відходів.

Шкідливий вплив на навколишнє середовище цукрових заводів пов'язаний із процесами, які відбуваються під час тимчасового зберігання та переробки коренеплодів, а також із відходами виробництва.

Заходи, спрямовані на зниження втрат при зберіганні і переробці буряків, треба починати здійснювати ще під час вирощування і збирання врожаю. Так, застосування біозасобів (ферментних препаратів, інгібіторів ферментів) сприяє посиленню синтезу сахарози, пригніченню ферментів, які її розщеплюють, внаслідок чого знижуються питомі втрати корисних речовин під час переробки. Передзбиральне хіміко-патологічне обстеження бурякових плантацій проводять з метою визначення черговості збирання і переробки буряків і тим самим зменшують можливі втрати при зберіганні, підвищують якість продукції. Максимальне зниження забрудненості коренеплодів ґрунтом і рослинними рештками під час збирання запобігає появі осередків гниття. Під час зберігання буряків у кагатах їх треба обробляти розчинами консервантів і антисептиків, зрошувати водою, вкривати теплоізоляційними матеріалами, активно вентилювати. Одним із нових способів поліпшення зберігання коренеплодів є обробка поверхні кагатів сумішами, які містять полімери, фунгіциди, неорганічні речовини і здатні утворювати тонку захисну плівку.

Очищення буряків, які надходять на переробку, доцільніше проводити «мокрим» способом при гідророзвантаженні, переміщенні по тракту подачі і на водовіддільниках. Це дає змогу відокремити понад 90 % домішок, тоді як за «сухого» способу — 50 %.

Процес екстрагування цукрів можна вдосконалити:

- інтенсивним попереднім нагріванням стружки до 75 – 80 °С протягом 3 – 10 хв на агрегатах високої потужності;
- застосуванням пресово-дифузної технології з глибоким пресуванням жому (до 22 – 26 % вмісту сухої речовини) і поверненням жомопресової води в процес екстрагування.

Підвищення якості екстрагента за рахунок використання чистих деамонізованих конденсатів (методи електродіалізу, суперкавітації) призводить до збільшення забруднення навколишнього середовища, тому екстракцію доцільніше проводити в пароконтактних нагрівниках.

Очищення дифузійного соку з переддефекацією і холодногарячою основною дефекацією сприяє зменшенню технологічних витрат вапняку та втрат цукру у фільтраційному осаді. Для фільтрування згущеної суспензії використовують фільтр-преси.

Процеси уварювання і кристалізації цукрових утфелів вдосконалюють застосуванням утфелемішалок вертикального типу, спеціальної пасти або суспензії для інтенсифікації кристалізації, підвищенням концентрації сиропу для уварювання утфелю.

Важливе значення для зменшення забруднення довкілля має використання вторинних ресурсів і відходів цукрових заводів.

Бурякові відходи (буряковий «бій», хвостики) переробляють окремо від основного потоку, а отриманий цукровмісний сік змішують з основним або використовують для виробництва спирту. Грудки цукру, цукровий пил повертають у технологічний процес.

Буряковий жом, вихід якого досягає 83 % маси сировини, містить 6,5 % сухої речовини, в тім числі 0,4 – 0,5 % цукру. Неправильне зберігання і використання його може створити певні екологічні проблеми. Жом згодовують худобі у свіжому вигляді або силосують. Сушений жом містить 87 – 88 % сухої речовини, в тім числі 4 % цукру і 6 – 7 % перетравного протеїну. Після збагачення його використовують для годівлі худоби (амідомінеральний, мелясований, бардяний). Із сушеного жому виготовляють харчовий пектин. Біотехнологічною переробкою жому отримують D-галактуронову кислоту, азот-, фосфоровмісні та карболізний концентрати, флокулянт тощо.

Мелясу, вихід якої становить близько 5 % маси сировини, застосовують як кормову добавку, з неї отримують хлібопекарські і кормові дріжджі, лимонну і молочну кислоти тощо. Найбільш відпрацьована безвідходна технологія переробки меляси у спиртовій промисловості, в результаті чого отримують етиловий спирт, дріжджі, вуглекислий газ, глутамінат натрію, вітамін B_{12}, інші лікарські засоби, гранульовані органо-мінеральні добрива, біогаз. Із сивушних масел добувають спирти-розчинники.

Розроблено хроматографічний метод вилучення цукру з меляси з використанням іонообмінних смол, а з цінних нецукрів виготовляють кормові концентрати.

Фільтраційний осад, який містить 75 – 80 % $CaCO_3$, використовують як місцеве вапнякове добриво, у виробництві кормів, як в'яжучу речовину для виготовлення силікатної цегли. Регенерацією

фільтраційного осаду отримують вапно, яке повторно використовують для очищення дифузійного соку та сатураційного газу.

При переробці бурякової сировини утворюються стічні води, які поділяють на три категорії:

I — барометричні (містять невелику кількість продуктів виробництва);

II — транспортерно-мийні, які залишаються після механічного відстоювання;

III — жомопресові, жомокислі, транспортерно-мийні.

Стічні води III категорії найнебезпечніші для навколишнього середовища. Для очищення стічних вод створюють оборотні системи водопостачання.

Біологічне очищення природним шляхом найбільш поширене, його проводять на полях фільтрації і зрошення зі штучним висіванням зелених проточних водоростей. Штучне біологічне очищення здійснюють в аеротенках окисненням активним мулом або у біофільтрах біоплівкою (останнє малоефективне). Розроблено метод біохімічного очищення в анаеробних умовах. Найефективнішим є зниження кількості стічних вод III категорії зменшенням забруднення цукрових буряків у ланці поле — кагатне поле.

При зберіганні сирої картоплі середні втрати досягають 30 %. За традиційної технології переробки її на крохмаль у відходи (мезгу і стічні води) потрапляє значна кількість сухих речовин (до 1/3), більша частина яких надходить у водойми і спричинює їх евтрофування.

Технологія сушіння картоплі пластинками дає змогу знизити втрати при зберіганні до 2 %, однак вона досить енерговитратна. Виробництво картоплепродуктів (чіпсів, крекерів, крупки тощо) подовжує строк їх зберігання порівняно зі свіжою картоплею, полегшує транспортування, забезпечує повнішу переробку сировини.

Особливістю й однією з обов'язкових умов комплексної переробки картоплі стало застосування механічного зневоднення подрібненої картопляної маси на фільтрпресах з розділенням її на щільну і рідку фракції, що істотно знижує витрати енергії на сушіння порівняно з випарюванням.

Одна з типових ліній переробки картоплі на корм передбачає отримання зі щільної фракції крохмалевмісного продукту і картопляного борошна, а з рідкої (клітинного соку) — сухого протеїнового концентрату та концентрату небілкового соку. Недоліками цієї технології є збіднення картопляного борошна на білок, досить високий вміст у крохмалевмісному продукті некрохмальних часточок, втрати білка в небілкову фракцію та видалення частини крохмальних зерен з газами.

Розроблено лінію безвідходної переробки картоплі на крохмалевмісний продукт вологістю 12 % з вмістом крохмалю 90 – 96 %, кормове борошно такої ж вологості з вмістом протеїну до 15 % і концентрат небілкового соку. Високого вмісту протеїну в кормовому борошні досягають змішуванням його з протеїновою суспензією. Інша подібна лінія розрахована на отримання харчового картопляного борошна, протеїнового концентрату з вмістом протеїну до 60 % та концентрату картопляного соку з вмістом сухої речовини 40 – 50 %.

Харчове картопляне борошно застосовують як добавку до пшеничного борошна для збагачення хліба на залізо, кальцій, магній, підвищення засвоюваності його білків. Додавання борошна до карамелі знижує вміст у ній цукру, збагачує на білок, мінеральні елементи, вітаміни, органічні кислоти. Харчове картопляне борошно може слугувати сорбентом-наповнювачем при сушінні молочної сироватки.

Крохмалевмісний продукт використовують для добування крохмалю, у виробництві декстрину і паперу.

До складу протеїнового концентрату входять усі незамінні амінокислоти, він є цінною кормовою добавкою. Концентрат картопляного соку, який крім цукрів містить значну кількість мінеральних елементів, особливо калію, використовують як компонент живильних середовищ при культивуванні актиноміцетів, які продукують антибіотики, їстівних грибів, мікроводорості хлорели, біомаса якої багата на білок.

При переробці плодів і овочів обсяг відходів може досягати 50 %, а з ними втрачаються цукри, білки, органічні кислоти, вітаміни тощо. Зменшення кількості відходів і збільшення виходу готової продукції добиваються вжиттям комплексу заходів.

1. Добір сортів з урахуванням мети переробки (строки достигання, придатність для механізованого збирання, вміст цінних речовин тощо).

2. Дотримання агротехніки (захист рослин, удобрення, технологія збирання та ін.) для вирощування високоякісної продукції, зменшення її деформування та травмування.

3. Застосування сучасних технологій переробки (електроплазмолізація, центрифугування, прес-пакування, прес-фільтрація, хімічні способи очищення сировини, мембранні технології тощо).

Розроблено маловідходні та безвідходні технології переробки яблук, ягід, огірків та ін. За звичайної технології переробки яблук на сік обсяг відходів (вичавків) перевищує 45 %. Переробкою яблук на сік, повидло, сульфітоване пюре можна знизити вихід витирок (насіння, насіннєвих камер, шкірки) після протирання вичавків до 10 %. Після висушування їх використовують як сировину для отримання пектину або для годівлі худоби.

Безвідходна технологія передбачає виділення соку (вихід — 25 – 40 %), з вичавків і густого продукту фільтрації соку — пюре (50 – 65 %), з витирок — кормового борошна (10 %). Подібна технологія із застосуванням інерційної фільтрувальної центрифуги дає змогу змінити співвідношення соку і пюре до 50 : 40 за такого ж виходу кормового борошна. Пюре використовують для виробництва напоїв, приправ, соусів, паст, кормів тощо.

Маловідходна технологія переробки ягід чорної смородини, журавлини, брусниці тощо забезпечує отримання крім основного продукту (протертих ягід) напоїв з вичавків екстрагуванням гарячою водою. Відходи застосовують для компостування.

За комплексної переробки огірків для приготування консервів використовують плоди неправильної форми (гачки, кубарики) і завдовжки понад 12 см після ретельного миття та нарізання кружечками.

З відходів переробки плодів, ягід і овочів добувають цінні продукти. Порошки, отримані з плодово-ягідних вичавків, містять понад 25 % цукрів, їх застосовують при випіканні хліба, виготовленні цукатів, кондитерських та інших виробів. Сухі вичавки використовують для виготовлення пектину. Для цього їх промивають теплою водою, в яку додають діоксид сірки для гідролізування протопектину. Пектин екстрагується на пакпресах за температури 88 – 98 °С. Екстракт концентрують, додаванням 90 – 95 % етилового спирту осаджують, відокремлюють на пакпресах і сушать у вакуум-сушарках. Пектин застосовують у кондитерській та консервній промисловості.

Сухі вичавки слугують концентрованою добавкою до корму худобі, в 1 кг їх міститься 0,61 – 0,84 кормових одиниць за вмісту перетравного протеїну до 15 %.

Відходи з плодів гранату (шкірка, насіння, перетинки), які досягають 50 % вихідного продукту, переробляють для отримання таніну (зі шкірок) екстрагуванням водою за температури 100 °С, кормового борошна, олії (з насіння).

Сік, вичавки, виноматеріали є сировиною для виробництва плодового оцту. Для цього цукор зброджують в етиловий спирт, який за наявності кисню оцтовокислими бактеріями перетворюється на оцет.

Із цілих плодових кісточок вирощують саджанці дерев. Ядра кісточок містять багато олії: абрикосові — 51 %, вишневі — 33, сливові — 40, черешневі — 26 %. Особливо цінною є фармацевтична олія з ядер абрикосових і персикових кісточок; з відходів переробки їх на олію отримують кормову макуху, халву тощо; з кісточкових кришок виготовляють шліфувальні матеріали.

З вичавків томатів отримують насіння, яке переробляють на харчову й технічну олію, але при цьому глибина переробки становить

лише 25 %. Сушінням вичавків без розділення на шкірку й насіння можна повністю переробляти їх на томатне кормове борошно для жуйних тварин.

Вичавки плодів чорноплідної горобини, чорної смородини, ожини, чорниці, винограду, вишень слугують сировиною для отримання концентратів природних харчових барвників із вмістом сухої речовини близько 40 %. Для цього їх екстрагують водою з наступним уварюванням у вакуум-апаратах, а тверду фракцію пресують і використовують як корм або компостують.

З органічних відходів рослинництва отримують вермикомпост (див. розд. 10).

Відходи переробних молокопідприємств містять біогенні елементи, органічні речовини, які завдають навколишньому середовищу значної шкоди. Системи очисних споруд цих підприємств неспроможні повністю їх очистити. Застосуванням безвідходних технологій зменшують кількість відходів.

За традиційної технології переробки молока утворюються вторинні молочні ресурси — знежирене молоко, сколотини, сироватка, в які переходить значна частина корисних речовин. Поряд із давно відомими методами переробки цих продуктів (сушіння і згущення) застосовують і фізико-хімічні — гель-фільтрацію, іонний обмін, електрокоагуляцію, електродіаліз, ультрафільтрацію, зворотний осмос тощо.

Перспективними є мембранні методи, що характеризуються низькими енергозатратами, забезпечують розділення молочних продуктів без фазових перетворень окремих компонентів і зміни їх якості, здійснення технологічного процесу за низької температури. Поєднанням мембранних методів з іншими можна розробити безвідходні технології переробки молокопродуктів.

Ультрафільтрацію здійснюють крізь напівпроникні мембрани з розміром пор 10 – 100 нм. Вони затримують високомолекулярні компоненти (жир, білки) і пропускають низькомолекулярні (лактозу, мінеральні речовини тощо). Метод можна використовувати для виробництва переважної більшості молочних продуктів. За допомогою зворотного осмосу концентрують сухі речовини знежиреного молока, сироватки.

Перспективним є метод безмембранного осмосу, який застосовують для отримання білкових концентратів зі знежиреного молока. Він ґрунтується на обмеженій сумісності біополімерів (казеїну і поліцукридів) у розчині. Функцію мембрани виконує поверхня поділу фаз білок — поліцукриди. При додаванні у знежирене молоко 2 – 3%-го розчину пектину система розділяється на дві фази — концентрат казеїну та безказеїнову, які використовують у виробництві харчових продуктів. Переробка знежиреного молока із застосуванням біополімерів дає змогу повніше використовувати його компоненти.

Впровадженням безвідходних технологій можна не тільки збільшити обсяг випуску харчової продукції, а й зменшити енерговитрати та негативний вплив відходів і викидів молочних підприємств на навколишнє середовище.

13.4. Мінімізація негативного впливу техніки

Пересування техніки полем спричинює негативні явища, пов'язані з підвищеним тиском на ґрунт та буксуванням рушіїв:

- погіршення фізичних та фізико-механічних властивостей ґрунту (щільності, пористості, твердості, питомого опору тощо);
- необхідність проведення додаткового обробітку за підвищеного опору ґрунту;
- посилення водної і вітрової ерозій ґрунту;
- зниження врожайності сільськогосподарських культур.

Спрощено ущільнення ґрунту визначають за середнім тиском на нього рушія. В сучасному уявленні воно прямо пропорційно залежить від максимального тиску рушія на ґрунт, площі опорної поверхні, ширини рушія, інтенсивності накопичення незворотних деформацій ґрунту, числа проходів техніки по одному сліду.

Зменшення навантаження техніки на ґрунт. Для зменшення негативного впливу рухомої техніки на ґрунт вживають заходів, які умовно можна об'єднати в три групи.

1. Агротехнічні та агрохімічні — спрямовані на підвищення стійкості ґрунту до ущільнювальної та руйнівної дії техніки. Досягають цього збільшенням вмісту органічної речовини, поліпшенням загальних фізичних і фізико-механічних властивостей удобренням, хімічною меліорацією, штучним структуроутворенням, мінімізацією обробітку ґрунту за рахунок застосування полицевого обробітку, зменшення його глибини.

2. Технологічні полягають у зменшенні числа проходів техніки полем, у тім числі за рахунок використання комбінованих і широкозахватних агрегатів, заміни механічного обробітку ґрунту внесенням гербіцидів; застосуванні способів руху, за яких зменшується площа ущільненої поверхні, зокрема човникового; впровадженні мостового землеробства (рис. 13.3).

3. Конструкторські — основними завданнями яких є зменшення тиску техніки на ґрунт та її буксування. Реалізують їх такими основними шляхами:

- зменшенням маси тракторів за рахунок застосування міцніших і легших матеріалів;
- зниженням робочої швидкості тракторів на ґрунтах із підвищеною вологістю і здатних до ущільнення;
- вирівнюванням центра ваги для досягнення однакового тиску передніх і задніх коліс трактора на ґрунт;

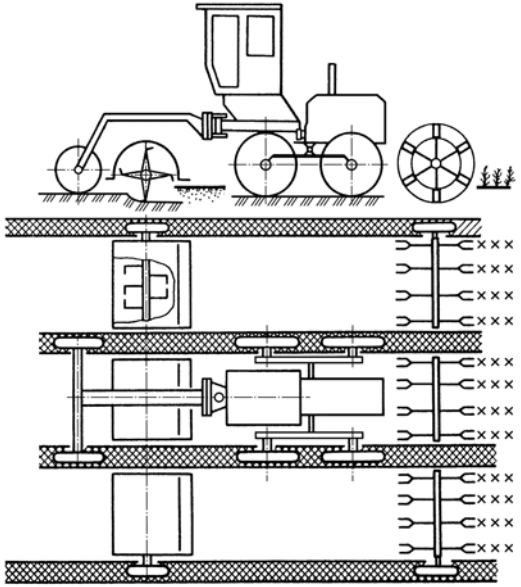


Рис. 13.3. Схеми комбінованого (*а*) і збирального (*б*) агрегатів для роботи за мостовою технологією
(за І.І. Водяником, 1990)

♦ розміщенням колісних рушіїв за схемою «катамаран» (на одній осі) або «тандем» (один за одним);

♦ зменшенням контактного тиску на ґрунт за рахунок зниження внутрішнього тиску повітря в шинах (рис. 13.4, *а*), застосування шин підвищеної еластичності (рис. 13.5); широкопрофільних та аркових шин (див. рис. 13.4, *б*, *в*);

♦ поліпшенням конструкції гусеничних рушіїв у напрямках звуження і видовження контактної поверхні, збільшення кроку гусениці, кількості опорних котків, застосування пружинних шарнірів.

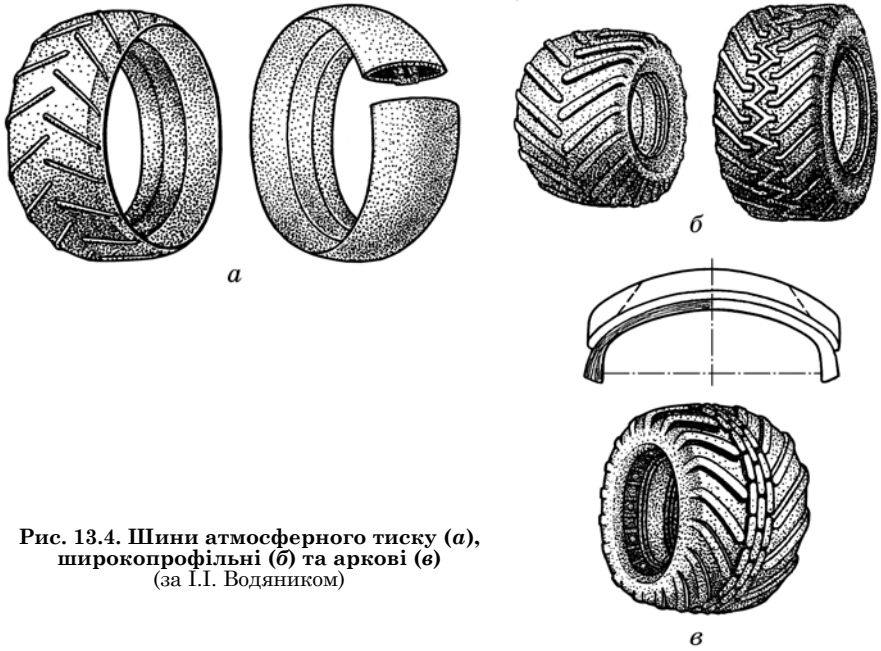


Рис. 13.4. Шини атмосферного тиску (*а*), широкопрофільні (*б*) та аркові (*в*)
(за І.І. Водяником)

Докладніше напрями вдосконалення ходових частин тракторів та іншої техніки розглянуто нижче.

Просапні колісні трактори. Завдання зменшення шкідливого впливу на ґрунт частково вирішують збільшенням діаметра і ширини шин, однак у зв'язку з погіршенням маневровості тракторів та агротехнічними вимогами це можна робити до певної межі. Зокрема, ширина шин не може перевищувати 21 см з огляду на захисну зону рядків культур, які вирощують із міжряддями 45 см.

Застосуванням здвоєних шин за схемою «тандем» поліпшують тягово-зчіпні властивості тракторів. Іншими шляхами вирішення цього завдання є використання широкопрофільних і аркових шин, привід на передні колеса меншого порівняно із задніми діаметра.

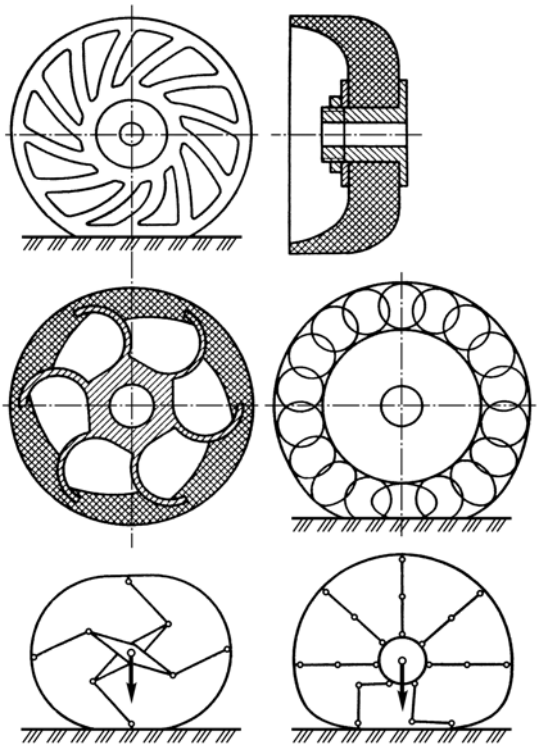


Рис. 13.5. Схеми еластичних коліс (за І.І. Водяником)

Зменшення маси тракторів за збереження тягово-зчіпних властивостей досягають встановленням двох ведучих мостів (колісна формула 4К4), причому кращою, хоча й дорожчою, є конструкція з усіма колесами однакового розміру.

Обладнання тракторів передньою навіскою з метою одночасного її використання із задньою (рис. 13.6) забезпечує рівномірніший розподіл експлуатаційного навантаження між передніми та задніми колесами, що усуває необхідність встановлення баластних вантажів на передню вісь для вирівнювання тиску на ґрунт та підвищення тягового зусилля.

Середній тиск коліс просапних тракторів на ґрунт не повинен перевищувати 80 – 110 кПа (залежно від класу), буксування — 16 і 14 % відповідно для тракторів із колісними формулами 4К2 та 4К4. Треба передбачати можливість установлення баластних вантажів, а для тракторів 4К2 — напівгусеничного ходу або ґрунтозачепів.



Рис. 13.6. Трактор, агрегатований із плугами на передній і задній навісках (за І.П. Ксеневичем та ін.)

Колісні трактори загального призначення. Найоригінальнішою конструкторською розробкою є мобільний енергетичний засіб (МЕЗ), який називають *трактором другого покоління* (рис. 13.7). Принципова особливість його полягає в оснащенні приводом на ходову частину сільськогосподарських машин для збільшення загального тягового зусилля МТА за рахунок їх маси, а не маси трактора. Отже, вирішується стратегічне завдання — збільшення енергонасиченості трактора, що за традиційних підходів неможливо, оскільки між потужністю двигуна і масою трактора існує певне співвідношення.

МЕЗ побудований за модульною схемою: як енергетичний модуль використано трактор, а функції технологічних модулів виконують візки на активних колесах з приводом від енергетичного модуля, з валами відбирання потужності та пристроями для приєднання знарядь, тари для насіння, добрив, робочого розчину пестицидів тощо.

Теоретично можливим стає необмежене підвищення маси технологічної частини агрегата, зниження маси енергетичної частини (трактора) за підвищення його потужності, оскільки у створенні тягового зусилля бере участь не тільки маса трактора, а й маса техно-

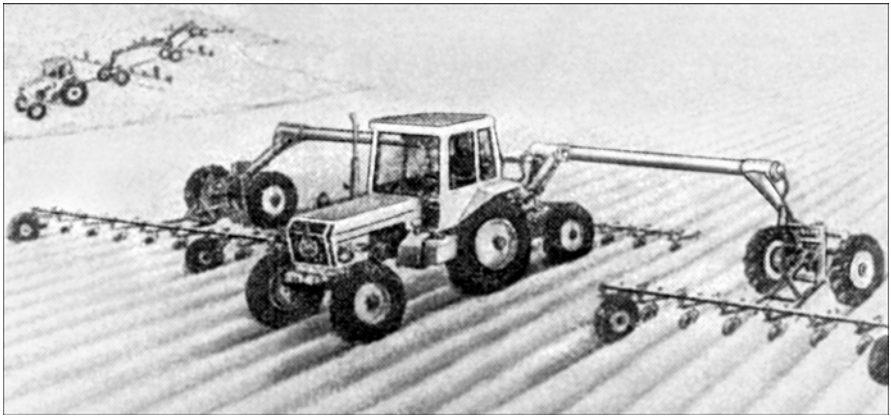


Рис. 13.7. Мобільний енергетичний засіб
(за І.П. Ксеневичем та ін.)

логічних модулів. Їх можна обладнувати потрібною кількістю коліс із приводом від енергетичного модуля, внаслідок чого за зниження тиску на ґрунт вони мають у кілька разів вищу вантажопідйомність. Це дає змогу зменшити непродуктивні витрати часу на поповнення технологічних матеріалів. Розміщення коліс із шинами низького тиску на більшій відстані сприяє зниженню тиску на ґрунт. Стає реальним використання 24-рядних машин. Збільшення тягового зусилля до 50 кН розширює діапазон застосування тракторів і практично усуває відмінності між тракторами загального призначення та просапними.

Гусеничні трактори. Одним із напрямів підвищення тягово-зчіпних властивостей, прохідності та зниження тиску на ґрунт є створення пневмогусеничного рушія. Поряд із позитивними ознаками, в тім числі меншими динамічним навантаженням та матеріалоємністю, він має чимало недоліків: низька надійність (втрата тиску в разі проколу, менший термін експлуатації), складність конструкції, менша продуктивність за низьких температур, більша втрата потужності на твердих поверхнях. Такий рушій можна застосовувати на тракторах, комбайнах, інших сільськогосподарських машинах.

Напівгусеничний рушій на пневмоподушках, розроблений для комбайнів, порівняно з колісним дає змогу знизити глибину колії та менше ущільнює ґрунт.

Для *транспортних засобів* створено комбінований рушій, в якому поєднано повітряну подушку зі звичайним колесом або гусеницею. Недоліки пневматичної подушки (складність підтримання заданого напрямку руху на підйомах, спусках, схилах, за бічного вітру, низька маневровість) усуваються, а тиск на ґрунт значно знижується. В перспективі можливі обробіток ґрунту, внесення добрив та обприскування посівів апаратами з повітряними подушками.

13.5. Точне землеробство

У розвинених аграрно-індустріальних країнах дедалі більшого поширення набуває *система точного землеробства* (СТЗ), яка дає змогу не тільки отримувати дешевшу продукцію кращої якості, а й знижувати шкідливе агротехногенне навантаження за рахунок зменшення витрат пестицидів, добрив тощо.

Точне землеробство (Precision Farming (Agriculture)) — це система взаємоузгоджених заходів, спрямованих на створення оптимальних і рівноцінних умов для розвитку рослин диференційованим внесенням технологічних матеріалів (насіння, добрив, пестицидів та ін.) відповідно до унікальних особливостей кожної елементарної ділянки поля. Близьким до нього є поняття «*місцевизначене землеробство» (Site-Specific Farming).*

Поступовий перехід до практичного впровадження точного землеробства є виявом загальної тенденції зростання ролі інформаційних технологій в усіх сферах життєдіяльності людини, а у виробництві дає змогу істотно піднести його технічний та організаційно-управлінський рівень за рахунок високої оперативності й багатопараметричності рішень, які приймаються.

Одним із головних шляхів вирішення завдань землеробства є просторово-часова оптимізація умов для рослин. Точне землеробство у сучасному розумінні переважно орієнтоване на просторову оптимізацію. Для цього потрібно, по-перше, забезпечити рівномірне розміщення рослин у полі, що за рядкової сівби означає — на однаковій відстані. Цим створюють однакові площу й об'єм живлення для рослин. По-друге, добрива, пестициди треба вносити так, щоб забезпечити рівноцінні умови для рослин. Однак високі точність і рівномірність застосування технологічних матеріалів внаслідок використання досконалішої техніки не гарантують створення однакових умов для рослин, оскільки на різних ділянках поля вони можуть опинитися в нерівнозначних умовах у зв'язку з варіабельністю ґрунтового покриву і властивостей ґрунту, забур'яненості поля і заселеності його шкідниками тощо. Це, в свою чергу, може призвести

до розриву в темпах росту і розвитку рослин, формування різного за якістю врожаю, неодночасності його достигання. Отже, завдання полягає у здійсненні технологічних заходів відповідно до потреб рослин та фітосанітарної ситуації, стану посівів на кожній елементарній ділянці поля, для чого потрібні його детальні картограми з даними про запас елементів живлення, густоту бур'янів, стан рослин, біологічну урожайність тощо.

Точне землеробство передбачає:

1) детальне картографування поля за основними агротехнічними параметрами;

2) координатне прив'язування машинно-тракторних агрегатів до поля;

3) точне виконання технологічних заходів відповідно до особливостей елементарних ділянок поля.

Основними складовими СТЗ є географічна інформаційна система (ГІС, GIS), диференційована глобальна система позиціонування (ДГСП, DGPS) та технологія змінних норм внесення (ЗНВ, VRT).

Географічна інформаційна система (Geographic Information System, GIS) — це система комп'ютерних апаратних засобів та програмного забезпечення, призначена для збирання та обробки даних щодо агротехнологічних параметрів елементарних ділянок поля.

Інформацію можна збирати відбиранням проб у полі (наприклад, для визначення агрохімічних показників) з наступними обробкою результатів аналізів і прив'язуванням їх до координат місць відбирання. Створено оптичні прилади з безконтактними датчиками, за допомогою яких в інфрачервоному випромінюванні з літаків або супутників фотографують поля. Інформація з характеристиками параметрів накопичується в базі даних (Data base), використовується для складання тематичних карт (Thematic map) урожайності, вмісту елементів живлення, норм внесення технологічних матеріалів тощо.

Диференційована глобальна система позиціонування (Differential Global Positioning System, DGPS) — радіонавігаційна супутникова система, спеціально скоригована для визначення місцезнаходження стаціонарних і мобільних об'єктів у трьох світових координатах (довгота, широта, висота) з точністю до десятків сантиметрів. Є поліпшеним варіантом глобальної системи позиціонування (GPS), точність якої вимірюється десятками метрів.

Широке застосування DGPS для визначення координат машинно-тракторних агрегатів стримується високою вартістю технічних та інформаційних засобів, відсутністю розвиненої мережі станцій диференціального коригування, можливими похибками, спричиненими грозовими розрядами та магнітними бурями.

Технологія змінних норм внесення (Variable Rate Technology, VRT) — це внесення за допомогою спеціального обладнання змінних норм (доз) технологічних матеріалів відповідно до особливостей кожної елементарної ділянки поля. Основою VRT є високоточна сільськогосподарська техніка, функціональні властивості якої визначаються широким використанням електронних пристроїв (комп'ютерів, мікропроцесорів, датчиків).

Обприскувачі обладнані пристроями для електронного регулювання подачі робочого розчину пестицидів, сівалки — для регулювання норми висівання та глибини загортання насіння, машини для внесення добрив — для регулювання доз внесення добрив, ґрунтообробні — для регулювання глибини обробітку ґрунту. Керування робочим процесом і контроль за його виконанням здійснюють із трактора, обладнаного багатоканальним мікропроцесором або комп'ютером, а на сільськогосподарських машинах встановлюють уніфіковані датчики. На пульт керування надходить інформація щодо швидкості руху агрегата, обсягу виконаної роботи, витрат пального і запасів технологічних матеріалів тощо.

За неможливості впровадження системи точного землеробства за класичною схемою вдаються до альтернативних підходів. Так, для визначення координат МТА використовують радіосистеми, які складаються з базової радіостанції, що знаходиться в приміщенні, та приймально-передавальних приладів, встановлених на польових агрегатах.

Українські вчені розробили нові концепцію й методологію впровадження системи точного землеробства на основі визначення місцезнаходження в полі і в локальній криволінійній системі координат. За допомогою цифрових відеокамер, якими оснащені агрегати, здійснюють зйомку полів, дані якої використовують для складання агротехнологічної карти завдань у координатах, що означають номер проходу агрегата та відстань його від краю поля. Карту можна вносити у пам'ять бортового комп'ютера.

В Україні у 2000 р. прийнято «Програму створення та впровадження технічних засобів для технологій точного землеробства», реалізація якої дала перші результати, створено мобільні машини для механічного відбирання проб ґрунту, електронно-механічні пристрої для зміни доз внесення добрив, машину для диференціального обробітку ґрунту, радіосистему для визначення координат агрегатів з використанням базової радіостанції та ін.

Запитання для самоконтролю

1. У чому полягає небезпека пестицидів для людини і навколишнього середовища? **2.** Наведіть методики токсиколого-гігієнічної й екотоксикологічної оцінки та визначення інтегрального ступеня небезпечності пестициду. **3.** Як визнача-

ють потенційний рівень небезпечності забруднення навколишнього середовища пестицидами? **4.** Якими принципами потрібно керуватися під час планування захисту рослин для мінімізації його негативного впливу на довкілля? **5.** Вкажіть основні напрями підвищення безпечності хімічного захисту рослин для людини і навколишнього середовища. **6.** Які обмеження стосовно застосування пестицидів передбачено для охорони вод, повітря і ґрунту від забруднення? **7.** У чому полягає негативний вплив добрив і хімічних меліорантів на навколишнє середовище і чим він зумовлений? **8.** Які нормативні вимоги встановлені щодо охорони вод від забруднення мінеральними добривами? **9.** Чим зумовлене підвищене накопичення нітратів у продукції рослинництва та яких заходів вживають для запобігання йому? **10.** Які відходи утворюються в процесі виробництва і переробки сільськогосподарської продукції? В чому виявляється їх негативний вплив на навколишнє середовище? **11.** Схарактеризуйте маловідходні та безвідходні технології переробки сільськогосподарської продукції. **12.** Чим зумовлений негативний вплив сільськогосподарської техніки і транспортних засобів на ґрунт? Які агротехнічні та технологічні заходи потрібно вживати для його зменшення? **13.** Перелічіть основні шляхи вдосконалення конструкцій сільськогосподарської техніки і транспортних засобів, спрямовані на зменшення їх тиску на ґрунт і буксування. **14.** Схарактеризуйте систему точного землеробства. Назвіть її складові частини та інформаційно-технічне забезпечення.





Розділ 14

ЗМЕНШЕННЯ НАСЛІДКІВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ І ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТУ

14.1. Іонізуюче випромінювання як екологічний чинник у сфері сільськогосподарського виробництва

Загальні положення. Швидкий розвиток ядерної енергетики і широке впровадження джерел іонізуючого випромінювання в різних галузях науки, техніки, народного господарства створили потенційну загрозу радіаційної небезпеки для людини і забруднення навколишнього середовища, в тім числі сільськогосподарського виробництва, радіоактивними речовинами.

Дію іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання вивчає наука *радіобіологія*.

На стику радіобіології й екології виникла самостійна наука — *радіоекологія*, що вивчає накопичення і міграцію радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища та їх дію на живі організми. Один із її розділів — *сільськогосподарська радіоекологія* — вивчає закономірності міграції радіонуклідів біологічними ланцюгами в агропромисловій сфері та дію іонізуючих випромінювань як одного з провідних екологічних чинників у сучасній біосфері на сільськогосподарські рослини, тварини й на агроекосистему загалом. Вона обґрунтовує принципи функціонування агропромислового комплексу на територіях з підвищеним вмістом радіоактивних ре-

човин і комплекс заходів, які забезпечують виробництво агропромислової продукції, що відповідає радіологічним стандартам.

Важливе значення сільськогосподарської радіоекології пов'язане з тим, що штучні радіонукліди належать до числа найнебезпечніших забруднювальних речовин навколишнього середовища, а глобальні масштаби радіоактивного забруднення і підвищення природного радіаційного фону визнано одними з головних негативних змін у сучасній біосфері.

Під *радіацією* розуміють іонізуюче випромінювання, яке виникає в процесі самочинного розпаду ядер атомів нестабільних хімічних елементів. Атоми, що мають ядра з однаковим числом протонів і різним числом нейтронів, називають *ізотопами*. Більшість нуклідів нестабільна, вони весь час розпадаються і перетворюються на інші радіонукліди. Час розпаду радіонуклідів різних елементів неоднаковий. Період, за який розпадається половина атомів конкретного радіонукліда називають *періодом піврозпаду*. Він може тривати від декількох хвилин до мільярдів років.

Кількісною характеристикою будь-якого джерела іонізуючого випромінювання є його *активність* (*радіоактивність*), якісною — *вид* та *енергія випромінювання*, *проникна здатність, період піврозпаду*.

Розрізняють корпускулярне і фотонне іонізуюче випромінювання. За *корпускулярного* з ядер атомів вилітають елементарні альфа-, бета-частинки, нейтрони, протони, мезони тощо, за *фотонного* (електромагнітного) створюються кванти енергії — гамма- чи рентгенівське випромінювання радіоактивних елементів. Різні види випромінювання супроводжуються вивільненням неоднакової кількості енергії і мають різну проникну здатність, тому вони специфічно впливають на живі організми.

Альфа-випромінювання є наслідком розпаду ядер атомів радіоактивних елементів; α-частинка складається з двох протонів і двох нейтронів і є ядром атома гелію. Середня енергія α-частинки, що вилітає з атома, 4 – 6 МеВ, максимальна — до 10 МеВ. В біологічній тканині вона може створити сотні тисяч пар іонів (до 300 тис.). Оскільки це великі частинки, шлях пробігу їх у повітрі невеликий (не більш як 10 см). Велика енергія випромінювання і малий шлях пробігу забезпечують дуже високу щільність іонізації альфа-випромінювання (кількість пар іонів на одиницю шляху пробігу α-частинки). Цим пояснюють високе ураження живих тканин у разі потрапляння α-випромінювальних речовин всередину організму. Малим пробігом α-частинок у повітрі і біологічних тканинах пояснюють незначну їх дію зовні організму (за рахунок зовнішнього опромінення).

Відомі два різновиди β-розпаду — *електронний* і *позитронний*. У першому випадку з ядра атома радіоактивного елемента вилітає електрон, який несе негативний заряд, у другому — позитрон, який

заряджений позитивно. Середня енергія β-частинки близько 1 МеВ, пробіг її в повітрі — до 1 м, в біологічній тканині — 2 – 20 мм. Щільність іонізації в сотні і тисячі разів менша, ніж у α-випромінювання, чим і визначається менший ефект ураження β-випромінюванням. Маючи меншу іонізаційну здатність, β-частинки характеризуються великою проникною здатністю, хоча одяг поглинає до 50 % β-частинок, а віконне чи автомобільне скло й металеві екрани завтовшки в кілька міліметрів затримують їх повністю.

γ-Випромінювання є потоком електромагнітних хвиль, які випускаються окремими порціями (квантами) і поширюються зі швидкістю світла. γ-Промені не несуть електричного заряду, але через високу швидкість переміщення здатні вибивати електрони з атомів будь-яких хімічних елементів (фотоелектрична дія). З великою проникною здатністю γ-променів пов'язана їх дуже шкідлива для живих організмів дія, насамперед у разі зовнішнього опромінення.

Самочинний розпад ядер атомів радіоактивних елементів супроводжується іонізуючим випромінюванням, яке, проходячи крізь різні речовини, взаємодіє з їхніми атомами й молекулами. Така взаємодія призводить до збудження атомів і виривання окремих електронів з електронних оболонок нейтральних атомів. У результаті атом без одного чи кількох електронів перетворюється на позитивно заряджений іон — відбувається *первинна іонізація*. Вибиті при первинній взаємодії електрони мають певну енергію, самі взаємодіють з атомами, на які натикаються, й утворюють нові іони — відбувається *вторинна іонізація*. Отже, енергія випромінювання, що проходить крізь речовину, витрачається в основному на іонізацію середовища.

Кількісною мірою радіоактивності речовини є її активність, яку виражають числом радіоактивних перетворень за одиницю часу (в системі одиниць СІ — одне ядерне перетворення за секунду). Ця одиниця отримала назву беккерель. Позасистемною, але часто вживаною одиницею активності є кюрі (Кі) — активність радіонукліда в джерелі (дорівнює активності нукліда), в якому відбувається $3{,}7 \cdot 10^{10}$ актів розпаду за 1 с.

Ступінь, глибина і форма променевих уражень, які розвиваються в біологічних об'єктах під дією іонізуючого випромінювання, залежить насамперед від величини поглиненої енергії випромінювання. Для характеристики цього показника використовують поняття *поглинена доза*, тобто енергія, поглинена одиницею маси опроміненої речовини. Одиницею поглиненої дози опромінення є джоуль на кілограм (Дж/кг) — грей. Грей — це доза будь-якого іонізуючого випромінювання, виражена в джоулях, поглинена 1 кг речовини (1 Гр = 1 Дж/кг).

В радіобіології і радіаційній гігієні досі широко застосовують позасистемну одиницю поглиненої дози — рад, що відповідає дозі випромінювання, за якої 1 кг опромінюваної речовини поглинає

0,01 Дж енергії незалежно від виду та енергії випромінювання. Один рад дорівнює 10^{-2} грей.

Для характеристики дози за ефектом іонізації, викликаним у повітрі, використовують так звану експозиційну дозу рентгенівського і гамма-випромінювання. Кількісна характеристика рентгенівського і гамма-випромінювання виражається сумарним електричним зарядом іонів одного знака, які утворюються в одиниці об'єму повітря за умови електронної рівноваги. За одиницю експозиційної дози рентгенівського і гамма-випромінювання взято кулон на кілограм (Кл/кг) — доза, за якої в 1 кг сухого атмосферного повітря при спряженій молекулярній емісії утворюються іони, що несуть електричний заряд 1 Кл кожного знака. Позасистемною одиницею експозиційної (фізичної) дози рентгенівського і гамма-випромінювання є рентген (Р).

Будь-який вид іонізаційного випромінювання спричинює біологічні зміни в організмі як за зовнішнього (джерело знаходиться зовні організму), так і за внутрішнього (джерело всередині організму) опромінення. Біологічний ефект іонізаційного опромінювання залежить від сумарної дози і тривалості його дії, виду випромінювання, розміру поверхні, що опромінюється, індивідуальних особливостей організму. Для оцінки радіаційної небезпеки хронічного опромінення людини введено еквівалентну (біологічну) дозу іонізаційного випромінювання, що дає змогу врахувати різний біологічний ефект від дії різних видів іонізаційного випромінювання за однієї й тієї ж дози. Еквівалентну дозу H визначають як суму добутків поглинених доз D на коефіцієнт якості k в елементарному об'ємі біологічної тканини стандартного складу:

$$H = \sum Dk.$$

За одиницю еквівалентної дози в системі СІ взято зіверт — енергію будь-якого виду іонізаційного випромінювання, поглиненого 1 кг біологічної тканини, за якого біологічний ефект тотожний поглиненій дозі 1 Гр контрольного рентгенівського чи гамма-випромінювання.

Важливим дозиметричним параметром є потужність дози (поглиненої, еквівалентної, експозиційної), яка характеризує нарощування дози за одиницю часу. За одиницю потужності дози беруть Гр/с (Рад/с, Зв/с, бер/с, Р/с).

Джерела радіоактивних речовин та іонізаційних випромінювань на Землі. Флора і фауна, всі живі організми на Землі піддаються постійному впливу різних джерел радіоактивного випромінювання. Ці джерела поділяють на природні і штучні (створені людиною). Нині відомо понад 70 природних радіонуклідів, які

визначають радіоактивність біосфери. За походженням їх поділяють на: *космогенні*, що створюються в результаті взаємодії космічних випромінювань з атомами азоту, водню, берилію, натрію, вуглецю та інших елементів, та *природні*, що знаходяться в надрах Землі й об'єктах навколишнього середовища. З великої кількості космогенних радіонуклідів помітний внесок у дозу опромінення роблять ^{3}H, ^{7}Be, ^{14}C і ^{23}Na.

Головне джерело надходження природних радіоактивних речовин — гірські породи, що містять уран, торій, період піврозпаду яких дорівнює мільйонам років. В міру їх розпаду джерелами випромінювання стають не тільки вони самі, а й їх численні проміжні продукти з коротшими періодами піврозпаду.

Внаслідок розпаду урану-238 утворюється 13 радіоактивних ізотопів. Найнебезпечнішими радіонуклідами торію-232 є радій-226 і радон-222, які разом зі своїми проміжними продуктами розпаду дають близько 75 % річної дози опромінювання, що отримує населення з усіх земних природних джерел радіації.

Найвагоміший внесок радону. Це безбарвний важкий газ (у 7,5 раза важчий за повітря) без запаху і смаку, що дає близько половини дози опромінення, яку людина отримує від усіх інших природних джерел. Радон надходить у приміщення з ґрунту, вивільнюється з будівельних матеріалів.

Природну радіоактивність рослин, фуражу і харчових продуктів зумовлює в основному калій-40. Природний калій має три ізотопи, два з яких (калій-39 і калій-41) стабільні, а один (калій-40) — радіоактивний. Живий організм, засвоюючи калій як необхідний для нормальної життєдіяльності організму елемент, накопичує і радіоактивний калій-40, останній разом з нерадіоактивним мігрує ланцюгом ґрунт — рослина — тварина — людина. Тому весь природний калій, якого в земній корі міститься 2,6 % є радіоактивним.

Зростання хімізації сільського господарства призводить до збільшення застосування добрив і меліорантів з підвищеним вмістом природних радіонуклідів. Це пов'язано з тим, що деякі види гірничої сировини, з якої отримують мінеральні добрива (насамперед фосфорні), збагачені ураном-238, торієм-232 та проміжними продуктами їх розпаду.

Основними штучними (техногенними) джерелами радіонуклідів у сфері агропромислового комплексу є залишкові кількості довгоіснуючих радіонуклідів, які потрапляють у довкілля з підприємств уранової промисловості, що займаються видобутком, переробкою, збагаченням урану і виготовленням ядерного палива. Забруднення навколишнього середовища можливе на кожному етапі виробничого процесу.

Рідкі відходи гідрометалургійних заводів, які містять радіоактивний радій-236, можуть потрапляти в річки й озера. Не виключе-

на небезпека забруднення навколишнього середовища при виробництві тепловидільних елементів (твелів), оскільки стружка і деякі сплави урану є самозаймистими речовинами, і за аварійної ситуації в навколишнє середовище може потрапити значна кількість збагаченого урану.

Аварійна ситуація може скластися при транспортуванні, зберіганні твелів та інших радіоактивних речовин. Джерелом радіоактивного забруднення довкілля може бути і радіохімічна промисловість, на підприємствах якої регенерують ядерне паливо з відпрацьованих твелів. Після розділення урану і плутонію, а також продуктів поділу урану їх можна використовувати, наприклад, як джерела випромінювання радіоактивних індикаторів. Навіть за дотримання всіх заходів радіаційної безпеки підприємства регенерації ядерного палива періодично скидають стічні радіоактивні води, хоча й у межах допустимих концентрацій.

Причиною забруднення навколишнього середовища можуть бути місця переробки і поховання радіоактивних відходів у разі аварій, пов'язаних із руйнуванням сховищ.

Радіонукліди як закриті джерела іонізаційного випромінювання широко використовують у промисловості, медицині, сільському господарстві. За незадовільного їх зберігання радіоактивне випромінювання від них може створювати небезпеку для навколишнього середовища. Останнім часом з'явилась загроза радіоактивного забруднення, пов'язана з космічними дослідженнями й астронавтикою.

Вагомий внесок у загальній дозі опромінення населення джерел іонізаційного випромінювання, які застосовують у медицині з діагностичною та лікувальною метою. Якщо дозу радіоактивного опромінення населення від усіх джерел, у тім числі й унаслідок великих радіаційних аварій, взяти за 100 %, то близько 30 % належатиме рентгенівським процедурам.

Дедалі частіше в медицині застосовують рентгенотерапевтичні установки для лікування онкологічних хворих. Малопотужними джерелами іонізаційного випромінювання можуть бути окремі прилади, які використовують у побуті. Наприклад, для виготовлення годинників зі світним циферблатом раніше брали радій. Радіоактивні ізотопи є у компасах, телефонних дисках, прицілах до зброї для стрільби в нічний час, флуоресцентних світильниках, інших електричних приладах і пристроях. Джерелом опромінення є кінескопи телевізорів чорно-білого й особливо кольорового зображення.

Особливо небезпечними як джерело іонізаційного опромінення населення є ядерні вибухи, що ґрунтуються на двох типах ядерних перетворень, — атомні та водневі бомби. В атомних бомбах величезна кількість енергії виділяється в результаті поділу ядер атомів радіоактивного урану чи плутонію, у водневих — внаслідок синтезу

гелію з двох легких елементів — водню і тритію. Остання реакція відбувається лише за температур у кілька мільйонів градусів, тобто в умовах вибуху атомної бомби. Внаслідок ядерного вибуху утворюється понад 200 різних радіоізотопів, що є осколками ядер атомів важких елементів (урану-235, плутонію-238, 239), та продуктів їх розпаду. Частина з них розпадається за кілька хвилин і годин після вибуху, інші — протягом кількох діб, а такі як стронцій-90, цезій-137 мають період піврозпаду відповідно 28,8 та 30,2 року.

З великого числа радіонуклідів ядерного палива, ядерних осколків та продуктів їх розпаду найважливішими за радіотоксичними і фізичними характеристиками (період піврозпаду, вид і енергія випромінювання, розчинність у воді, доступність для кореневої системи рослин, поводження в організмі та ін.) є такі: уран-235, плутоній-239, 240, цезій-134, 137, йод-131, рутеній-103, 106, барій-140, церій-144. Як джерела внутрішнього опромінення найнебезпечніші радіонукліди йоду, цезію, стронцію і плутонію. Рештки радіонуклідів залишаються на полігонах, де проводиться випробування ядерної зброї, і прилеглих до них територіях.

Найнебезпечнішим джерелом радіоактивного забруднення навколишнього середовища й опромінення всього живого є аварійні викиди підприємств атомної енергетики.

Багатолітній досвід експлуатації ядерних реакторів у різних країнах засвідчує, що за нормального режиму роботи атомних електростанцій викиди радіоактивних продуктів поділу ядерного палива в навколишнє середовище відносно невеликі. Проте число «незапланованих» викидів радіоактивних продуктів в атмосферу, різного роду аварій на цих об'єктах залишається значним, незважаючи на всі заходи безпеки.

За неповними даними, тільки на атомних електростанціях за час їх експлуатації зареєстровано понад 300 аварій і велику кількість викидів радіонуклідів в атмосферу. Найбільшими аваріями, що призвели до серйозного забруднення навколишнього середовища радіонуклідами, були аварії на Південному Уралі на територіях Челябінської, Свердловської та Курганської областей. Так, у 1957 р. на підприємстві паливного циклу «Маяк» сталася найбільша за світовими вимірами Киштимська аварія. Внаслідок технічної несправності вибухнув один з резервуарів, у якому зберігалось 70 – 80 т високорадіоактивних відходів. В атмосферу потрапила суміш радіонуклідів загальною активністю близько $7{,}4 \cdot 10^{16}$ Бк (~ 2 МКі). Радіоактивного забруднення стронцієм-90 зазнала територія площею 23 тис. км^2, де проживало 272 тис. чоловік.

Велика за своїми масштабами аварія сталася у Віндскейлі (Велика Британія). На заводі з виробництва плутонію із природного урану в результаті пожежі, що виникла в активній зоні реактора і

тривала протягом 4 діб (8 – 12 жовтня 1957 р.), було пошкоджено 150 технологічних каналів, що призвело до викиду радіонуклідів через трубу заввишки 125 м. За час аварії в атмосферу надійшло $7{,}4 \cdot 10^{14}$ Бк (20 кКі) радіонуклідів. У складних метеорологічних умовах вони розсіялись на великій території південно-східної частини Англії і межуючих з нею країн (Бельгії, Нідерландах, ФРН, Норвегії, Данії). У перші ж дні після аварії було вжито активних заходів щодо оцінки радіаційної обстановки в прилеглих районах. У зв'язку з високою концентрацією йоду-131 в молоці (> 0,1 мкКі/л) було заборонено використання молока, яке отримували на фермах, що знаходились на території близько 500 км^2. Всього було вилучено ~ 3 млн л молока (заборону було знято через 40 діб після аварії). Рівень забруднення іншими радіонуклідами не перевищував допустимих норм.

Найбільшою катастрофою світового масштабу стала аварія на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 р. Її наслідки створили в Поліському регіоні України надзвичайно складну екологічну ситуацію, що загрожує здоров'ю і життю теперішнього і майбутніх поколінь.

За офіційними даними, сумарна активність радіоактивних продуктів поділу (без урахування викидів інертних газів) досягла 50 МКі, в атмосферу потрапило близько 3,5 % радіоактивного палива, яке знаходились у реакторі на момент аварії. Характерними особливостями цієї аварії були:

- тривале (кілька тижнів) надходження в атмосферу газуватих, летких і аерозольних продуктів;
- незвичайний фізико-хімічний стан викинутих радіонуклідів, оскільки горів графіт і температура досягала 2000 °С;
- формування радіоактивного забруднення залежно від метеорологічних умов — руху повітряних мас; спостерігалося кілька радіоактивних сліди (північний, північно-західний і південний), які і визначили зони забруднення території;
- нерівномірне забруднення території радіонуклідами.

У суміші продуктів радіоактивного поділу було майже 200 радіонуклідів (більш як 70 хімічних елементів), основна частина з яких — короткоіснуючі. У міру розпаду короткоінуючих радіонуклідів ситуацію почали визначати довгоіснуючі, такі як стронцій-90, цезій-137, плутоній-219, з періодами піврозпаду відповідно 28,8; 30,2 і 24 380 років.

Радіоактивні речовини, викинуті під час аварії на Чорнобильській АЕС, виявились різними за розчинністю і рухомістю. Частина з них «запакована» в сплавах силіцію (піску), вуглецю (графіту) і продуктів їх горіння. Ці частинки мають дуже високу активність, але вони слабкорозчинні у воді і біологічних рідинах і тому менш небезпечні як можливі джерела внутрішнього опромінення. Цим мож-

на пояснити і той факт, що корови, які випасаються поблизу реактора, дають чистіше молоко за вмістом радіонуклідів, ніж у віддалених районах Житомирської, Рівненської та інших областей України, а також Росії і Білорусі.

На 1 січня 2003 р. територія України, Росії і Білорусі, забруднена цезієм-137 зі щільністю понад 37 кБк/м^2 (1 Кі/км^2), становила 20,4 млн га. Четверта частина цієї площі (понад 5 млн га) належить Україні. Забруднення щільністю від 5 до 15 Кі/км^2 зазнало 325 тис. га, а 40 Кі/км^2 — 180 тис. га; ці землі вилучені з користування.

Радіотоксикологічна характеристика деяких радіонуклідів

Йод. Із 24 радіоізотопів найбільше радіаційно-гігієничне значення має йод-131 з періодом піврозпаду 8,04 доби; β- і γ-випромінювач. Йод дуже активний елемент, добре засвоюється рослинами, водяними організмами, тваринами і людиною.

100 % йоду, що потрапляє у травний канал людини з продуктами харчування (молоком, овочами, фруктами, яйцями та ін.), всмоктується в кров. Основна його маса (68 – 80 %) вибірково накопичується в щитоподібній залозі. Радіонукліди йоду здатні спричинити пухлини щитоподібної залози та інших органів (зокрема, статевих).

Стронцій. Відомо 18 радіонуклідів стронцію. Більшість із них короткоіснуючі і лише чотири мають період піврозпаду від 1 доби до 2 міс, а один — найпоширеніший стронцій-90 — 28,8 року. Основне джерело забруднення цим елементом навколишнього середовища — атомні вибухи та аварії на ядерних реакторах. Стронцій-90 добре розчинний у воді, тому його рухливість у ґрунті значна. Найбільша розчинність стронцію в ґрунтах з високою кислотністю і мінімальним вмістом обмінного кальцію, тому з таких ґрунтів він легко засвоюється рослинами.

Потрапивши в травний канал, стронцій добре (на 20 – 70 %) всмоктується в кров. Рівень його всмоктування залежить від виду, віку, фізіологічного стану, характеру харчування і в організмі дорослої людини досягає 20 – 30 %. За нестачі кальцію і білка в раціоні всмоктування стронцію може зростати до 50 – 60 %.

Крізь непошкоджену шкіру проникає близько 1 % радіоактивного стронцію, крізь пошкоджену (опіки, різані рани) він всмоктується майже повністю.

Незалежно від шляхів і режиму надходження в організм, розчинні сполуки стронцію вибірково накопичуються в кістках тварин і людей. У м'яких тканинах утримується близько 1 % стронцію-90.

Накопичуючись у скелеті, стронцій-90 залишається там тривалий час і постійно опромінює тканини. Внаслідок цього кісткова тканина і кістковий мозок зазнають більших патологічних змін, ніж

інші органи і тканини організму. Великі дози стронцію-90 спричинюють променеву хворобу.

Цезій. Із 30 радіонуклідів цезію більшість є короткоіснуючими (періоди піврозпаду вимірюють секундами і хвилинами), і тільки два з них довгоіснуючі — цезій-134 (період піврозпаду 2,06 року) і цезій-137 (30,2 року). В навколишнє середовище цезій надходить у результаті атомних вибухів і аварій на ядерних реакторах, викидів радіоактивних речовин в атмосферу і водойми підприємствами ядерної промисловості, атомними електростанціями, ядерно-енергетичними установками.

Найнебезпечнішим для біологічних об'єктів є цезій-137, це β-випромінювач. Під час його розпаду утворюється радіоактивний барій-137 з періодом піврозпаду 2,55 хв і випромінюються γ-кванти. Властивості цезію аналогічні властивостям одновалентного елемента калію, подібно до якого від активно включається в біологічний колообіг, мігрує біологічними ланцюгами і потрапляє в організм людини.

Розчинність солей цезію, що надійшли в ґрунт із глобальними опадами, досягає 80 – 100 %. Оскільки цезій не утворює важкорозчинних сполук у широкому діапазоні pH, він легкодоступний для рослин і накопичується в них.

В організм тварин цезій надходить із забрудненими кормами, водою і меншою мірою з повітрям при диханні. Всмоктування в кров з травного каналу овець і кіз становить близько 60 %, великої рогатої худоби — 93 – 100 %. Цезій накопичується в основному у м'яких тканинах, і тільки близько 4 % його відкладається в кістках. Виводиться цей елемент з організму з калом (10 – 30 %) і сечею (70 – 90 %), добре виводиться з молоком. Період його напіввиведення з організму залежить від виду тварин, їх віку і характеру годівлі. Для дорослої людини цей період триває близько 100 діб, для дітей до 1 року — 10 – 20 діб.

Накопичуючись у м'яких тканинах, цезій спричинює внутрішнє опромінення, яке може викликати такий самий біологічний ефект, як і зовнішнє опромінення організму аналогічними дозами.

Плутоній. Відомо 15 радіонуклідів плутонію, серед яких найважливішим є плутоній-239 з періодом піврозпаду 24 380 років; це α-випромінювач. Утворюється в урановому паливі, у зовнішнє середовище плутоній-239 надходить при випробуванні атомної зброї, у разі аварій на атомних електростанціях, при переробці відпрацьованого атомного палива. Сполуки плутонію в ґрунті розчиняються погано, тому практично нерухливі і недоступні для кореневої системи рослин. При вдиханні плутонію всмоктування його у кров у 100 разів більше, ніж у разі надходження з їжею.

Міграція радіонуклідів сільськогосподарськими ланцюгами

Радіонукліди, що випадають на земну поверхню, концентруються в головних її компонентах — ґрунті, водоймах, рослинах. Радіоактивні речовини, які потрапили в ґрунт, з часом частково вимиваються у підґрунтові води. Однак ґрунт досить міцно утримує основну частину радіонуклідів, і вони тривалий час знаходяться в ґрунтовому покриві і безперервно надходять у сільськогосподарську продукцію. Ґрунт як основний компонент агроценозу помітно впливає на інтенсивність включення радіоактивних речовин у трофічні ланцюги. Поглинання радіонуклідів ґрунтом заважає швидкому їх пересуванню по профілю та в підґрунтові води, бо вони акумулюються у верхніх шарах ґрунту. Чим повніше радіонукліди поглинуться ґрунтовим вбирним комплексом, чим міцніше вони закріпляться в поглиненому вигляді, тим менше вимиватимуться з опадами, мігруватимуть по профілю ґрунту й у відносно менших кількостях надходитимуть у рослини.

Радіоактивні опади у вигляді аерозольних часточок (густина їх, як правило, більша за одиницю), потрапивши на поверхню водойм, дуже швидко опускаються на дно і концентруються у відкладах мулу. Тут їх може нагромаджуватись до 95 % кількості, що випала на водне дзеркало. З часом частина їх розчиняється у воді і може забруднювати її.

Радіонукліди цезію-137 та деяких інших елементів, потрапивши на рослини з атмосфери, можуть утримуватися ними і проникати всередину.

Радіоактивні речовини з атмосфери врешті-решт концентруються у ґрунті. У зв'язку з цим поводження радіонуклідів у ґрунті відіграє надзвичайно важливу роль у загальному циклі їх міграції, оскільки поглинання радіонуклідів із ґрунту рослинами значною мірою залежить від його фізико-хімічних властивостей, а також від фізико-хімічних властивостей самих радіонуклідів, біологічних особливостей рослин, погодно-кліматичних умов і агротехніки культур.

Фізико-хімічні властивості ґрунту. *Вбирна здатність.* Серед багатьох характеристик ґрунту визначальну роль відіграє його вбирна здатність — здатність поглинати іони, молекули різних речовин з розчину й утримувати їх. К.К. Гедройц виділив п'ять видів вбирної здатності ґрунту: механічну, фізичну, хімічну, фізико-хімічну (обмінну), біологічну. Всі вони певною мірою впливають на поведінку радіонуклідів у системі ґрунт — ґрунтовий розчин — рослина. Найістотніший вплив на поведінку радіонуклідів у ґрунті обмінної або фізико-хімічної вбирної здатності, яка підлягає основним закономірностям іонного обміну.

На відміну від процесів, які розглядаються у класичному вченні про вбирні властивості ґрунтів, поглинання ними радіонуклідів відбувається специфічно, оскільки здійснюється в умовах гранично низьких концентрацій поглинених речовин. Тому співвідношення між ємністю вбирання ґрунтами і ступенем її насичення радіонуклідами дуже широке. Отже, в процесі поглинання мікрокількості радіонуклідів не конкурують за місця на поверхні сорбенту, оскільки насиченість сорбенту відносно них завжди залишається дуже низькою. Однак при цьому можуть зберігатися звичайні залежності між мікро- і макрокомпонентами ґрунтового розчину в ґрунтовому вбирному комплексі, які визначаються законом дії мас. Специфічна особливість полягає в тім, що вияв зазначених закономірностей однобічний: зміна кількості мікрокомпонента в системі здатна змінювати його розподіл, а на макрокомпонент вона фактично не впливає.

Сорбційні процеси радіонуклідів у ґрунті значною мірою залежать від його гранулометричного складу.

Ґрунти, які містять велику кількість високодисперсних часточок (розміром менш як 0,001 мм), характеризуються високою ємністю вбирання. Відомо, що окремі фракції ґрунтів різняться не тільки за розміром часточок, а й за фізичними, хімічними властивостями і мінералогічним складом. Зі зменшенням розмірів часточок знижується вміст оксиду силіцію, зростають кількість сесквіоксидів заліза й алюмінію, вміст гумусу, обмінних катіонів кальцію, калію, магнію, що особливо важливо для процесів сорбції радіонуклідів. Пилуваті фракції значно більше здатні фіксувати радіоактивні цезій і стронцій, ніж піщані. Відмінності в закріпленні мікрокількості стронцію-90 і цезію-137 різними за розміром фракціями зумовлені не тільки неоднаковою площею поверхні цих часточок, різним їх хімічним складом, а й різним мінеральним складом.

Найбільшу вбирну здатність відносно мікрокількостей радіонуклідів мають мінерали монтморилонітової групи і гідрослюд. Мінерали каолінової групи і групи слюд дещо поступаються за цією здатністю, а сорбційна здатність відносно макро- і мікрокількостей катіонів, що знаходяться в ґрунті, мінералів групи кальциту, польових шпатів і кварциту найнижча. Це зумовлено насамперед неоднаковою структурою кристалічних ґраток мінералів.

Поглинений цезій-137 на відміну від стронцію-90 міцніше утримується мінералами. Радіонукліди, що потрапили у ґрунт, можуть знаходитися там у різних формах: водорозчинній, обмінній, необмінній, міцнофіксованій. За тривалого перебування в ґрунті форми радіонуклідів перерозподіляються, з часом змінюється їх фізико-хімічний стан, вони стають менш доступними рослинам, відбувається так званий процес їх «старіння» у ґрунті. Велика частина радіонуклідів при взаємодії з ґрунтом досить швидко переходить із водо-

розчинної форми в обмінну і далі частина їх переходить з обмінної форми в необмінну. У міцнофіксований стан з часом може перейти значна частина (до 70 %) цезію-137 і лише 4 % (на сьомий рік) стронцію-90.

Надходження радіонукліда у рослину через корені залежить від хімічних властивостей і ступеня його участі в метаболічних процесах.

Повна подібність спостерігається у поглинанні рослинами і переміщенні по них стронцію-90 і цезію-137 та їхніх хімічних аналогів — кальцію і калію. Поглинання радіонуклідів і переміщення їх по рослині відбувається в три основні стадії. Спочатку радіонукліди дифузним шляхом порівняно легко потрапляють у вільний простір тканин кореневих волосків. Для цього використовується енергія, що вивільняється при диханні. На другій стадії поглинання радіонукліди проникають у провідні тканини, одновалентні іони поглинаються швидше, ніж багатовалентні, і переносяться в стебла рослин у більших кількостях. На третій стадії поглинання спостерігається висхідний потік іонів у судинні тканини. Швидкість переміщення іонів у пагонах залежить від інтенсивності транспірації води. Радіонукліди, які надходять у надземну частину рослин, в основному нагромаджуються в соломі, листках і стеблах, менше — в зерні. Нагромадження радіонуклідів у рослинах визначається *коефіцієнтом накопичення* — відношенням вмісту радіонукліда в одиниці рослинної маси до вмісту його в одиниці маси ґрунту або одиниці об'єму розчину.

Загалом для накопичення радіонуклідів та їх вмісту на одиницю маси речовини в процесі росту рослин спостерігається така сама закономірність, як і для біологічно важливих елементів: з віком рослин у їхніх надземних органах абсолютна кількість радіонуклідів збільшується, а їх вміст на одиницю маси сухої речовини — зменшується. З підвищенням урожаю вміст радіонуклідів на одиницю маси, як правило, зменшується.

Забрудненість рослинної продукції радіонуклідами, що надходять з ґрунту в рослини через корені, залежить від типу і властивостей ґрунту. Найвищі рівні забруднення спостерігаються на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу (піщаних і супіщаних), нижчі — на сірих лісових і найнижчі — на чорноземах.

Велика різноманітність ґрунтів в Україні визначає істотні відмінності в поводженні радіонуклідів у ґрунтах і накопиченні їх у рослинах. За одного й того ж рівня забруднення концентрації радіонуклідів у рослинах, вирощених на різних ґрунтах і в різних ґрунтово-кліматичних зонах, можуть різнитися в десятки разів. Кількість накопичених радіонуклідів у рослинах великою мірою залежить від властивостей ґрунтів, які зумовлюють поглинання і закріплення їх у поглиненому стані.

На міцність закріплення радіонуклідів у ґрунті, й отже, на надходження їх у рослини і накопичення в урожаї впливають реакція середовища, вміст обмінних кальцію, калію та інших елементів, склад поглинених основ, вміст органічних речовин.

Із кислих ґрунтів радіонукліди стронцію і цезію надходять у рослини в значно більших кількостях, ніж із слабкокислих, нейтральних чи слабколужних. У міру зростання кислотності ґрунту знижується міцність їх закріплення, збільшуються рухливість і надходження в рослини. Знизити накопичення довгоіснуючих радіонуклідів стронцію і цезію в урожаї сільськогосподарських культур можна внесенням карбонатів кальцію, калію або натрію в кислий дерново-підзолистий ґрунт у кількостях, еквівалентних гідролітичній кислотності.

На карбонатних ґрунтах відбувається необмінна фіксація радіонуклідів. Крім того, стронцій і кальцій є хімічними аналогами. У разі надходження в рослини між ними можуть складатися певні конкурентні відносини (антагонізм) і кальцій, якого в ґрунті на кілька порядків більше, ніж стронцію, обмежить його надходження в рослини.

На перехід цезію-137 із ґрунту в рослини впливає насамперед сума обмінних катіонів. На ґрунтах із низькою сумою поглинених основ, як правило, радіонукліди надходять у рослини інтенсивніше, ніж на ґрунтах з вищою сумою обмінних катіонів.

На надходження цезію-137 із ґрунту в рослини найбільше впливає калій як аналог цезію. Зростання в ґрунті вмісту обмінного калію пропорційно знижує міграцію і надходження в рослини цезію-137. Подібний тип взаємовідносин може встановитися між цезієм та іншими одновалентними елементами (натрієм, рубідієм, літієм).

На міграцію радіонуклідів в атмосфері і ґрунті помітно впливають погодно-кліматичні умови (атмосферні опади, рух повітря, температура навколишнього середовища та ін.). Так, вітер може спричинити вторинне забруднення рослин радіонуклідами. Очищення від радіонуклідів, які потрапили на рослини, і взаємодія їх із ґрунтом значною мірою залежать від пори року. Взимку за низьких температур і твердих атмосферних опадів вони будуть мінімальними. Плюсові температури й висока вологість ґрунту влітку посилюють взаємодію радіонуклідів із ґрунтом.

Погодно-кліматичні умови впливають як на вертикальну, так і на горизонтальну міграцію радіонуклідів. За сильних зливових дощів у літньо-осінній період, швидкого танення потужного снігового покриву наприкінці зими — на початку весни можливий змив радіонуклідів із площ водозборів у водойми і забруднення ними річок, озер, водосховищ.

Останнім часом на Поліссі спостерігається значне підвищення температури за відсутності опадів навесні, що призводить до фор-

мування пилових бур, наслідком яких є перенесення пилуватих часточок, у тім числі й радіонуклідів на значні відстані.

Накопичення радіонуклідів у компонентах фітоценозу. Подальша міграція радіоактивних речовин, які випали на поверхню ґрунту, біологічними ланцюгами визначається насамперед їх розчинністю і пов'язаною з нею біологічною доступністю. Забруднення рослин радіонуклідами в перший період після аварії на ЧАЕС відбувалося двома шляхами: позакореневим і кореневим.

Карбонатні радіоактивні часточки, що потрапили на поверхню рослин, здатні не тільки забруднювати їх наземні органи, а й проникають у внутрішні тканини, переміщуються, перерозподіляються і накопичуються в господарсько цінній частині.

Радіонукліди, що випадають на вегетуючі посіви чи насадження, не всі затримуються на рослинах, частина їх відразу ж осідає на землю, обминувши рослини. Ступінь затримання радіоактивних часточок рослинами характеризують величиною *первинного утримання* — відношенням кількості осілих на рослини радіоактивних часточок до загальної їх кількості, що випала з атмосфери на дану площу.

Утримувальна здатність рослинного покриву залежить від його щільності, морфологічних ознак рослин, форми, розмірів та агрегатного стану радіоактивних речовин, метеорологічних умов на час їх випадання — швидкості вітру до і після випадання радіонуклідів, відносної вологості повітря. Первинне утримування радіоактивних часточок може коливатись від 20 – 30 до 95 %. З часом під дією дощу, вітру радіонукліди потрапляють на ґрунт. Втрати радіоактивності забрудненими рослинами, які відбуваються під дією всіх чинників, крім радіоактивного розпаду нуклідів, прийнято називати *польовими втратами*. Швидкість видалення радіоактивних речовин із рослинного покриву в літературі часто виражають періодом напіввтрат — це час, протягом якого з рослин змивається дощем і здувається вітром 50 % радіонуклідів. Максимальна їх кількість видаляється з рослин у перший період після потрапляння. Тверді сплавлені часточки радіонуклідів здуваються з рослин швидше, ніж розчинні форми. Найшвидше щезає та частина радіоактивних речовин, яка залишається у вільному, незв'язаному стані на поверхні кутикули листків, непроникної для води і газів. Товстий кутикулярний шар деяких рослин перешкоджає проникненню радіонуклідів всередину рослин. Однак на листках виявлено специфічні місця, доступні для їх проникнення, — це епідермальні клітини над поверхнею жилок і волосків та місця над антиклінальними епідермальними клітинними перетинками, крізь які переміщується транспіраційний потік.

Радіоактивне забруднення рослин буде тим меншим, чим більше часу мине від початку випадання радіоактивних речовин. За умов

постійних (хронічних) випадань зі збільшенням часу ступінь забруднення урожаю, як правило, зростає.

Вміст радіонуклідів на одиницю рослинної маси змінюється з часом і визначається інтенсивністю та тривалістю польових втрат, приростом біомаси за цей період, перерозподілом радіонуклідів в організмі рослин. У разі міграцій радіоактивних речовин у системі атмосфера — рослини велике значення має проникнення їх всередину рослин. Інтенсивність міграції радіонуклідів залежить насамперед від їх хімічних властивостей. Інтенсивно переміщуються по рослинах радіоактивні цезій, рубідій, йод, ітрій, значно слабкіше — стронцій, церій, рутеній, цирконій, барій. Найбільшою рухливістю різниться цезій-137. Потрапивши на листки, він швидко переміщується всередину рослини й у великих кількостях може накопичуватися в зерні, бульбах картоплі, плодах огірків і томатів.

У процесі росту і розвитку рослин вміст радіонуклідів в урожаї збільшується й досягає максимуму в кінці вегетації. Наприклад, вміст стронцію-90 в коренеплодах столових буряків, за даними І.В. Гулякіна, Е.В. Юдинцевої, при надходженні нукліда через листки в кінці вегетації збільшився приблизно в 20 разів порівняно з накопиченням його в коренеплодах буряків, зібраних через 8 днів після нанесення радіонукліда. Найбільше цезію-137 в урожаї рослин накопичується при кінцевому збиранні капусти і столових буряків.

На переміщення радіоактивних речовин по рослині і накопичення їх в урожаї великою мірою впливає вік листків, з яких нукліди надходять у репродуктивні органи. З молодих листків радіонукліди інтенсивніше перемішуються по рослині і в значно більших кількостях накопичуються в господарсько цінній частині врожаю.

Фаза розвитку рослин має значення не тільки для накопичення в урожаї радіонуклідів у разі переміщення їх всередині рослин при надходження через листки, а й при механічному забрудненні поверхні надземних органів деяких культур, однак роль її у цьому разі дещо інша. Так, при випаданні такого малорухливого нукліда, як стронцій-90, і надходження його в рослини через листки у фазу після виколошування пшениці і ячменю, їх зерно буде забруднене цим нуклідом значно сильніше, ніж при випаданні радіостронцію у фазу початку виходу в трубку. Для рослин із закритим насінням (горох, кукурудза) механічне забруднення врожаю радіоактивними речовинами практично неважливе. Рівень забруднення рослин радіонуклідами за прямого потрапляння на поверхню листків визначається кількістю свіжих радіоактивних випадань. Надходження їх в рослину з ґрунту через коріння залежить від загальної кількості акумульованих ґрунтом радіоактивних речовин. Тому при повторенні глобальних випадань радіонуклідів їх кількість у ґрунті збільшується, а ступінь забруднення врожаю підвищується в результаті поглинання радіонуклідів рослинами з ґрунту через корені.

Дія іонізаційного опромінення на рослини

Опромінення рослин чи окремих їх органів може бути *зовнішнім*, *внутрішнім* і *змішаним*. Зовнішнє опромінення відбувається тоді, коли джерело випромінювання віддалене від об'єкта.

Загальна доза радіації може надходити частинами упродовж тривалого періоду, що вимірюється місяцями і роками. Таке опромінення називають *хронічним*. Така сама доза радіації, що надходить короткочасно, викликає гостре опромінення рослин. Внутрішнього опромінення рослини зазнають, коли радіонукліди надходять у них через листки чи корені. При цьому найбільше опромінення тканин і органів рослин спричинюють α- і β-частинки, довжина пробігу яких невелика. Меншу щільність опромінення створюють γ-кванти, які проходять великі відстані і вилітають за межі органів рослин.

Змішаному опроміненню рослини піддаються, коли в них накопичились радіонукліди, які розпадаються і випромінюють γ-кванти, а ті, в свою чергу, опромінюють зовні рослини, що ростуть поряд.

Усі види випромінювань взаємодіють із живою матерією і викликають прямі і побічні ефекти.

Молекули, що отримали імпульс енергії, можуть розпадатися на окремі осколки — радикали або іони. Радикали взаємодіють між собою і з незміненими молекулами, утворюють нові хімічні сполуки. При цьому порушуються фізіологічні і біологічні процеси. Опромінення діє на окремі молекули, макромолекули, субклітинні структури клітини, тканини, органи і рослинний організм загалом. Розміри пошкоджень рослини залежать від дози і характеру дії випромінювань, а також від здатності пошкодженого організму до регенерації та низки інших умов. До складу рослин входить 75 – 95 % води. При опроміненні рослин молекули води розщеплюються на радикали $OH^{\bullet}$, $H^{\bullet}$, $HO_2^{\bullet}$, з яких утворюються пероксиди і гідропероксиди. З ними пов'язане виникнення первинних хімічних змін і наступне радіаційне ураження рослин.

Особливо чутливе до опромінення ядро клітини, оскільки при цьому порушується генетична структура ДНК. Втрата частини чи й усіх хромосом призводить до загибелі клітин. Враховуючи, що опромінення завжди впливає на процеси метаболізму, які в основному відбуваються в цитоплазмі, її пошкодження теж може спричинити загибель клітини.

Велике значення для рослин мають відновні процеси щодо заміщення пошкоджених тканин і органів у результаті розмноження клітин, які вижили. Цим рослинний організм різниться від тваринного, бо ураження окремих внутрішніх органів тварин призводить до загибелі всього організму.

Під дією радіації руйнуються унікальні генетичні структури (ДНК). Внутрішньоклітинні мембрани можуть пошкоджуватись за

прямої дії іонізуючих частинок, вільними радикалами, активними речовинами (радіотоксинами), які утворюються в результаті перебігу в клітині хімічних і біологічних процесів під дією радіації.

Кванти енергії, що проникли в клітину, спричинюють порушення в хромосомах, у них з'являються розриви, що є початком хромосомної перебудови, яка відбувається в два етапи. На першому хромосоми розриваються на фрагменти, на другому спостерігаються або з'єднання фрагментів у попередньому порядку й відновлення вихідних структур, або перекомбінація, яка призводить до хромосомних перебудов.

Мутагенна і біологічна активності β- і γ-випромінювань однакові.

Характер і ступінь вияву пошкоджень вегетуючих рослин великою мірою визначаються потужністю дози випромінювання і різняться за умов хронічного, гострого опромінення і спадної в часі потужності дози опромінення.

Опромінення вегетуючих рослин ячменю і пшениці дає чітко виражені цитогенетичні ефекти, з'являються стерильні рослини, зменшується врожай, спостерігається їх загибель.

Забруднення посівів озимої пшениці у фазі 3 – 4 листків спричиняло порушення мітозу в апікальній меристемі. Вже через 1 добу після забруднення, коли поглинена конусом наростання доза досягла 3 Гр, спостерігалося вірогідне зниження частоти хромосомних аберацій у мейозі. В міру накопичення дози частота аберантних клітин зростала і на 21-шу добу з початку опромінення їх було в 3,7 раза більше, ніж на неопромінених рослинах.

Порівняння частоти хромосомних аберацій, індукованих у критичних органах ячменю при опроміненні в різні фази онтогенезу, засвідчує підвищення радіочутливості рослин у міру наближення до мейозу.

Опромінення рослин на ранніх етапах розвитку призводить до підвищення частоти хлорофільних мутацій, а в разі опромінення у фазу кущення і виходу в трубку зростає частота морфологічних мутацій, а контактне β-опромінення осілими на листках частинками радіоактивних опадів спричинює їх пошкодження — некротичні явища у вигляді чорних плям, жовкнення, скручування. В ячменю і пшениці всихали кінчики листків, спостерігалися опіки поверхні стебел і навіть остюків колосків у вигляді жовто-оранжевих і коричневих плям.

Злаки дуже радіочутливі у фазі виходу в трубку, коли поряд із диференціацією конуса наростання утворюються статеві клітини і настає готовність до їх запліднення. Радіочутливість збільшується в міру диференціації конуса наростання.

Найтиповішими морфологічними змінами при опроміненні рослин у ранні фази розвитку є безості, мутовчасті, вилчасті форми ко-

лосків. Найбільше морфологічних змін у разі опромінення ячменю у фазу колосіння, а найбільше знижується схожість насіння у фазу цвітіння, коли формування зародка тільки починається. Комплексною оцінкою впливу радіоактивних опадів на посіви є продуктивність рослин, що відображає сукупну дію пошкоджень на всіх етапах росту і розвитку рослин.

При опроміненні дозою до 13 Гр ячменю і пшениці у фазу сходів не відмічено зменшення урожайності цих культур ні в рік забруднення, ні в два наступні роки. При забрудненні посівів у фазу кущіння-колосіння урожайність зерна зменшувалась залежно від ступеня опромінення.

Наведені закономірності впливу радіонуклідів на рослини спостерігалися після аварії на Чорнобильській АЕС переважно в 30-кілометровій зоні.

Багатолітніми дослідженнями встановлено, що в 1986 – 1987 рр. кількість аномалій в озимої пшениці перевищувала 40 %, а в наступні роки вона значно скоротилася. У перший рік після аварії в рослин озимої пшениці у фазі кущіння найчастіше (49 %) виявляли утворення в колосках стерильних зерен. У 1987 р. кількість таких аномалій зменшилася до 30 %, а в наступні роки — до 1,9 %. Часто траплялися вкорочені колоси з допоміжними колосками. У наступних поколіннях кількість допоміжних колосків збільшилась удвічі.

Внаслідок гострого опромінення у весняний період 1986 р. на полігоні, розміщеному в 10-кілометровій зоні від ЧАЕС, змінилися листкові пластинки у хвойних і листяних порід дерев. Листові пластинки ялини збільшилися до 3 разів. Різко змінився колір хвої: в сосни він був світло-жовтий, у ялини — малиновий.

Листкові пластинки дорослих дерев дуба втратили властиву їм конфігурацію аж до овальної форми, листки змінили колір до малинового. Аналіз однорічних сіянців і дворічних саджанців засвідчив велику зміну морфологічних ознак, більшість яких спостерігалась у дорослих дерев.

У міру збільшення тривалості перебування багаторічних рослин у зоні підвищеної радіації, слід очікувати селективного збільшення поліморфізму і фізіологічної нестабільності.

Дія на рослини інкорпорованих радіонуклідів

Інкорпорація (від лат. *incorporatio* — включення) — це проникнення радіоактивних речовин в організм. Більшість видів рослин мають відносно високу радіостійкість порівняно з організмами тварин і людини, і навіть у разі накопичення значних кількостей радіонуклідів дія випромінювання в них виявляється значно меншою мірою. Водночас при надходженні і накопичені радіонуклідів у віднос-

но радіочутливих видів рослин залежно від фізико-хімічних характеристик радіоактивних речовин, їх кількості, місця локалізації, можуть спостерігатися такі самі радіобіологічні ефекти, як і при еквівалентних поглинених дозах зовнішнього опромінення. Такими ефектами є радіаційна стимуляція, генетична дія, морфологічні зміни, прискорене старіння і зменшення тривалості життя, загибель рослин.

Підвищена небезпечність радіоактивних речовин, що потрапляють в організм, зумовлена багатьма причинами, головною з яких є *здатність деяких речовин вибірково накопичуватися в окремих тканинах і органах*. Якщо при зовнішньому опроміненні тканина опромінюється рівномірно, то при внутрішньому формуються високі локальні дози для тканин, що зумовлено хімічними властивостями радіонуклідів і специфікою метаболізму виду. Активну роль у формуванні таких доз відіграють фізіологічні особливості самого організму. Місця високої локалізації, зосередженні, як правило, у ділянках тканин, які виявляють високі метаболічну та профілактичну активності, що властиво критичним тканинам рослин — меристемам.

Другою важливою особливістю дії інкорпорованих радіоактивних речовин є *зростання небезпечності* α- *і* β-*випромінювань*, які через низьку проникну здатність не загрозливі або мало загрозливі для внутрішніх тканин організму за умов зовнішнього опромінення, але стають надзвичайно сильними джерелами іонізуючої радіації в разі потрапляння всередину рослини. Особливо це стосується джерел α-випромінювання (плутонію, америцію, радію, урану тощо), яке має високу відносну біологічну ефективність (ВБЕ) і може спричинювати тяжкі променеві ураження.

Третьою особливістю інкорпорованих радіоактивних речовин є *тривалі строки дії на організм*. Опромінення, пов'язане з інкорпорацією радіоактивних речовин, належить до типу хронічного. Головним шляхом захисту від інкорпорованих радіоактивних речовин є запобігання їх надходженню в організми рослин, тварин і людей, причому перший із них найважливіший.

У перший рік після аварії на ЧАЕС опромінення рослин великою мірою визначалося зовнішньою дією радіоактивних речовин. У наступні роки, з початком міграції радіонуклідів трофічним ланцюгами, воно майже повністю зумовлюється внутрішнім опроміненням. В одно-дворічних рослин за порівняно короткий період вегетації не завжди встигають сформуватися значні дози опромінення, а в багаторічних рослин за десятки років вони можуть бути досить високими. Більше того, переважна кількість видів багаторічних рослин, як правило, чутливіша до радіації, ніж одно-дворічні трав'янисті рослини.

Якщо механізми надходження і засвоєння радіонуклідів одно-дворічними трав'янистими і багаторічними деревними рослинами

майже не відрізняються, то характер їх накопичення має принципові відміни.

Багаторічні деревні рослини здатні накопичувати значні кількості радіонуклідів в усіх органах — листках, гілках, корі, деревині. Багаторічний замкнений цикл радіонуклідів ланцюгами листки — лісова підстилка — ґрунт — корені — стовбур — листки може призводити до значного радіоактивного забруднення всіх органів. Одним із найбільш радіочутливих видів є сосна. У меристемах — найбільш радіочутливих тканинах — спостерігаються уповільнення або прискорення поділу клітин, формування різного роду морфологічних змін, уповільнення росту окремих органів і рослини загалом, відмирання меристеми. Загальна поглинена доза у хвої і бруньках була приблизно в 10 разів більша за дозу зовнішнього γ-опромінення. Це стало причиною загибелі активно ростучих меристем, проліферованих бічних бруньок, скривлення голок хвої, порушення орієнтації молодих вегетативних пагонів. Летальні ефекти опромінення сосни проявилися до кінця літа 1996 р. Пошкоджуватися можуть і інші види.

У зразках насіння дев'яти сортів озимої пшениці, відібраних у різних місцях 30-кілометрової зони відчуження та на інших сильно забруднених територіях України, де максимальний рівень сумарного β- і γ-випромінювання насіння досягав $3{,}7 \cdot 10^4$ Бк/кг, у 18,4 % зразків було виявлено достовірні збільшення (більш як у 2,7 раза) частоти хромосомних аберацій у клітинах меристеми первинного корінчика проростаючого насіння. В одному випадку в проростках із насіння рослин, вирощених за 18 км від ЧАЕС, спостерігали збільшення в 32 рази кількості хромосомних аберацій у пшениці, в 2,7 – 8,7 раза збільшилася частота мутацій.

Виявлено зниження відносної швидкості росту рослин гороху і кукурудзи на водних витяжках ґрунту з 10-кілометрової зони ЧАЕС. Радіаційне стимулювання, що виражалася в прискоренні проростання насіння, росту рослин, проходженні фаз розвитку, підвищенні фотохімічної активності хлоропластів, спостерігали у жовтого люпину, вирощеного з насіння, зібраного у 30-кілометровій зоні ЧАЕС, яке отримало цезію-137 $2{,}31 \cdot 10^3$ і стронцію-90 $1{,}65 \cdot 10^2$ Бк/кг.

Через чотири роки після аварії спостерігали зниження у 5 – 10 разів продуктивності насіння ланцетолистого подорожника місцевої популяції. Однак головна небезпека накопичення рослинами радіонуклідів криється не в загрозі для рослин, а в тім, що вони є головною ланкою міграційного ланцюга на шляху передачі радіонуклідів більш радіочутливим видам живих організмів — тваринам і людині.

Відновні процеси у рослинних організмах

Відновні процеси в живих організмах при їх ураженні радіоактивним випромінюванням можуть відбуватися як на молекулярному, клітинному і тканинному рівнях, так і на рівнях органів і організму загалом. Післярадіаційне відновлення рослинного організму залежить насамперед від нормалізації функцій клітин меристемних тканин, які мають дуже малу радіостійкість. Під відновленням клітин меристемних тканин розуміють відновлення здатності їх до поділу, тобто нормалізацію фізіологічних і біосинтетичних функцій цих тканин.

Відновлення є процесом ліквідації видимого чи прихованого пошкодження. Під *прихованим пошкодженням* клітини радіаційним випромінюванням розуміють такий її стан, коли певними допоміжними зовнішніми впливами в клітині збуджують процеси, які виявляють ознаки явного пошкодження, характерні для звичайного радіаційного ефекту. Наприклад, прихованим пошкодженням може бути порушення структури ДНК. Приховане пошкодження може визначатися не тільки порушенням унікальної структури молекули ДНК, а й інших речовин, важливих для функціонування клітини.

Відновлення у чистому вигляді, тобто процес ліквідації прихованих пошкоджень, лежить в основі зменшення радіаційного ураження клітини. З відновленням клітини пов'язане відновлення її генетичних структур. Аномальні сполуки чи звичайні метаболіти, які накопичуються в клітинах у надмірних концентраціях, хоча й спричинюють порушення клітинних структур і процесів, але здатні щезати в результаті відновлення генетичних структур, нормалізації метаболізму та систем його регулювання. Післярадіаційне відновлення на рівні молекул і клітин може відбуватися під дією світла (фотореактивація і фотовідновлення), темряви (темнова репарація).

У багатоклітинних організмах можливе відновлення тканин органів і організмів загалом, безпосередньо не пов'язаних із післярадіаційним відновленням макромолекул та окремих клітин.

Отже, поняття «відновлення» має ширший зміст, — це сукупність процесів, які забезпечують збереження рослин від загибелі при ураженні опроміненням. Однією з можливостей збереження рослин після опромінення є те, що в результаті кількох поділів малоуражених радіацією клітин утворюється нова тканина без істотних слідів променевого ушкодження. Такий шлях відновлення називають *репопуляцією*.

В основу уявлення про різноманітні шляхи відновлення багатоклітинних рослинних організмів покладено факт різної радіочутливості клітин і їх радіостійкості. Як уже зазначалось, низьку радіостійкість мають меристема, спорогенна тканина, пилякові зерна і деякі інші клітини.

При опроміненні рослин дозами, летальними для активно проліферуючих клітин, ті з них, що знаходяться в менш активному стані, можуть зберегтися живими. Процес відновлення рослини можливий тоді, коли або пошкоджена клітина відновлюється, або клітини, що збереглися, беруть на себе функції загиблих. Численні факти засвідчують, що при променевому ураженні можливі одночасно обидва шляхи відновлення.

Хронічний режим опромінення, що склався в 30-кілометровій зоні ЧАЕС після гострого періоду опромінення навесні 1986 р., не дав змоги відразу розкрити природу променевого ураження багаторічних насаджень, оскільки радіочутливість усіх їх компонентів істотно змінювалась упродовж річного циклу розвитку. Крім того, в ході опромінення поряд із розвитком ефектів пошкодження відбувалися процеси відновлення. Після гострого періоду опромінення відновні реакції в багаторічних дерев і кущів спостерігалися через 1 – 1,5 року.

За критерії відновлення було взято інтенсивність утворення коренів, пагонів, паростків, фізіологічні реакції компенсаторного характеру. Багаторічні дерева сосни не здатні до утворення паростків. В них потужний відновний потенціал вегетативного характеру має крона з великою кількістю сплячих бруньок, які захищені цілорічно фотосинтезуючою хвоєю. Спостереженнями 1986 – 1991 рр. виявлено, що у сосни за дози понад 14 Гр (сублетальна доза) відновлення відбувалось за рахунок додаткових пагонів із раніше сплячих бруньок. Цей процес розпочинався через рік після опромінення (1987) і виражався в появі у верхній частині крони поодиноких пагонів з великою фотосинтетичною активністю (в 3/4 рази вищою, ніж у контрольних дерев), що підтверджує їх значну компенсаційну здатність. З кожним роком кількість таких пагонів зростала і приріст пагонів у 1991 р. у верхніх кільцях був більшим, ніж у нижніх.

Пострадіаційною реакцією на загибель верхівки сосни є заміна її одним із бічних найсильніших пагонів-кільчаків. Деякі учені вважають радіостійкість хвойних дерев у лісових масивах найнижчою.

На території 30-кілометрової зони ЧАЕС відмічали також появу пагонів і паростків у чорної смородини, гостролистої верби, що підтверджує вірогідність посилення усіх типів регенераційних процесів у багаторічних рослин.

Надходження радіонуклідів у тваринницьку продукцію

Радіоактивні речовини надходять в організм тварини через органи дихання (аеральний шлях), травний канал, а також крізь пошкоджений шкіряний покрив. Аеральний шлях проникнення важливий лише в період випадання радіонуклідів або з відкритого

джерела радіоактивного випромінювання. Крізь шкіру тварин надходить незначна кількість радіоактивних речовин. Основним шляхом їх проникнення в організм тварини, як і в організм людини, є оральний, тобто з їжею і водою.

Серед харчових продуктів, з яких радіонукліди надходять в організм людини, продукти тваринництва — молоко, м'ясо, яйця тощо посідають чільне місце. Зрозуміло, що в регіонах із низькою часткою продукції тваринництва в харчуванні людини значний внесок як джерела радіонуклідів продуктів рослинного походження і грибів.

У загальній схемі міграції радіонуклідів сільськогосподарським тваринам належить особливе місце. Йдеться насамперед про жуйних тварин, які з'їдають багато грубих і соковитих кормів. При цьому разом із травою (частково і з дерниною та землею) в їх організм потрапляє велика кількість радіонуклідів, які випали на пасовище. У травному каналі корм піддається механічній і біологічній обробці й перетворюється на легкорозчинні сполуки, які засвоюються організмом.

Стан радіонуклідів, що надходять у травний канал тварини, визначається розчинністю речовин у різних відділах шлунка, хімічними властивостями радіонуклідів, видовими, віковими і фізіологічними особливостями організму, балансом основних елементів живлення в раціоні та ін. Радіоактивні речовини всмоктуються практично вздовж усього травного каналу, але найбільше в кишках (максимально — в тонкій кишці).

Радіонукліди, що всмоктались у кров, розносяться нею по органах і тканинах тварин, де частково затримуються і вибірково концентруються в окремих органах. Наприклад, у щитоподібній залозі накопичуються радіонукліди йоду, в кістках скелета — стронцію. Радіонукліди цезію розподіляються в організмі рівномірніше, та більша частина їх відразу виводиться з організму. Ступінь радіаційного впливу радіонуклідів на деякі органи й на організм тварини загалом залежить від тривалості перебування їх в організмі. Строки перебування радіонукліда в організмі тварини чи людини характеризують *періодом його напіввиведення* з організму, тобто часом, протягом якого кількість радіонукліда, що нагромадився в організмі чи окремому органі, зменшується вдвічі внаслідок перебігу процесів обміну речовин і їх виділення. Тривалість періоду напіввиведення радіоцезію з організму жуйних тварин залежно від їх віку і продуктивності становить 20 – 40 діб, з організму людини — цезію-137 — 70 діб, йоду-131 — 138 діб, стронцію-90 — 50 років. Радіонукліди в основному виводяться через травний канал за винятком радіонуклідів йоду, які виводяться переважно через нирки.

Дія іонізаційного випромінювання на тварин

За радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь тваринництво є найбільш уразливою галуззю сільськогосподарського виробництва. Це пояснюється тим, що разом із зовнішнім опроміненням в організм тварин можуть надходити великі кількості радіонуклідів із забрудненими кормами, водою, особливо за пасовищного їх утримання.

Реакція тварин на опромінення визначається низкою фізичних і біологічних чинників. До фізичних чинників належать вид випромінювання, доза і динаміка її формування (потужність дози, фракціювання її в часі), розмір, локалізація опроміненого поля, розподіл дози в організмі. Біологічними чинниками насамперед є ті, що визначають відміни в радіочутливості за однакових умов опромінення: вид, вік, стать, вихідний стан та індивідуальні особливості тварин.

Ефективність γ-випромінювання у 8 – 20 разів вища порівняно з β-випромінюванням. За одночасного зовнішнього α- і β-опромінення однаковими дозами уражувальний ефект за рахунок β-випромінювання збільшується приблизно на 10 %.

Встановлено, що α- і β-випромінювання не дуже загрозливі за зовнішньої дії, оскільки впливають в основному на поверхню шкіри, тоді, як η- і нейтронне випромінювання, що мають велику проникну здатність, завдають загального променевого ураження тварині. Ураження організму носить системний характер і виявляється насамперед у функціональних, а згодом і структурних порушеннях і змінах. Центральна нервова система слугує пусковим механізмом вмикання нервово-рецепторного апарату, який реагує також і на зміни в інших тканинах організму. В результаті опромінення нервова система сильно збуджується і функції її змінюються.

Одним із виявів системних реакцій на опромінення є підвищення чутливості тварин до збудників інфекційних хвороб і зниження імунореактивності.

Тяжкі радіаційні ураження призводять до швидко наростаючого порушення білково-азотного обміну, посилення активності протеаз тканин, наслідком чого є збільшення ендогенного розкладання білків, швидке зменшення маси тіла опромінених тварин і отруєння організму продуктами неповного білкового розщеплення.

Інтегральним показником радіаційного ураження є тривалість життя тварин. Тому одним із основних критеріїв оцінки біологічної дії іонізуючого випромінювання вважають смерть тварини і застосовують поняття летальної і півлетальної доз опромінення. *Півлетальна доза* ($ЛД_{50–30}$) — це мінімальна доза радіації, яка спричинює загибель 50 % тварин упродовж перших 30 діб після опромінення. *Летальна доза* ($ЛД_{100–30}$) — це доза, яка призводить до загибелі

всіх тварин за той самий строк. З погляду радіочутливості найцікавішими є ссавці. Найкраще вивчені й отримано найточніші дані стосовно дрібних тварин — мишей, щурів, ховрахів, кролів, собак. Значно менше відомо про радіочутливість великих тварин, таких як кінь, корова, верблюд тощо.

Найбільш радіочутливими серед свійський тварин є вівці, мінімальне значення $ЛД_{50}$ для яких становить 1,5 Гр, найбільш радіостійкими — кролі ($ЛД_{50}$ для них дорівнює 8 – 10 Гр). Для великої рогатої худоби $ЛД_{50}$ становить 1,6 – 5,5 Гр, $ЛД_{100}$ — 6,55 Гр; для людини відповідно 2,5 – 4 і 6 Гр.

Залежно від характеру взаємодії іонізуючого випромінювання (гострого чи тривалого, пролонгованого) за відносно високих поглинених доз може настати променева хвороба тварин. У сільськогосподарських тварин за ступенем тяжкості розрізняють чотири стадії гострої променевої хвороби: легку (доза 1,5 – 2 Гр), середню (2,5 – 4), тяжку (4 – 6) і дуже тяжку (> 6 Гр). Специфіка вияву радіологічних ефектів інкорпорованих радіоактивних речовин в організмах тварин великою мірою визначається їх властивістю накопичуватись у певних місцях та органах і створювати осередки сильного опромінення. Як уже зазначалося, до 50 % йоду-131 може концентруватись у щитоподібній залозі, а переважна більшість стронцію-90 — в кістках. Основна частина дози опромінення за рахунок радіойоду (до 80 % — йод-135, йод-133, йод-131, що мають короткий період півроспаду) формується упродовж перших чотирьох діб. Дози локального опромінення щитоподібної залози при цьому можуть досягати сотень і навіть тисяч грей, що призводить до порушення структури й функцій цього важливого органа, зменшення його розмірів і навіть повного руйнування. Концентрація стронцію-90 у скелеті тварин у сотні разів може перевищувати його кількість у м'яких тканинах і створювати осередки значного опромінення кісткового мозку, який у ссавців є найбільш радіочутливим. За масового радіаційного ураження клітин кісткового мозку в організмі розвивається кістковомозковий синдром, який спричинює спустошення кісткового мозку і нерідко призводить до загибелі тварин. За нижчих доз у тварин можуть розвиватися хвороби крові типу анемії, лейкозів та інших, які виявляються в сонливості, лихоманці, втраті апетиту, кровоточивості слизових оболонок.

Реакція тварин на надходження всередину організму великих доз стронцію-90 мало різниться від реакції на зовнішнє опромінення, оскільки в обох випадках наслідком радіаційного ураження є розвиток кістковомозкового синдрому. Найбільше ураження тварин радіонуклідами спостерігається за комплексної їх дії на організм від великої кількості джерел іонізуючого випромінювання (зовнішнє

опромінення радіонуклідами, які знаходяться на пасовищі, у фермських приміщеннях; внутрішнє — інкорпорованими в тілі тварин радіонуклідами, які надходять з кормом, повітрям, яким тварини дихають, тощо).

Слід зазначити, що радіаційне ураження сільськогосподарських тварин настає за вмісту радіонуклідів у навколишньому середовищі значно більшого, ніж той, за якого харчові продукти (молоко, м'ясо, зерно) визнаються непридатними для споживання через перевищення в них гранично допустимих концентрацій радіонуклідів.

Радіаційний моніторинг сфери сільськогосподарського виробництва

Моніторинг (від англ. *monitoring* — контроль, керування, регулювання) — комплексна система тривалих спостережень, оцінки і прогнозу змін стану навколишнього середовища або певних об'єктів, явищ.

Моніторинг екологічний — комплексна підсистема моніторингу біосфери, що включає спостереження, оцінку, прогноз антропогенних змін стану абіотичних складових біосфери, відповідних реакцій екосистем на дії забруднення, екологічної ефективності сільськогосподарського використання земель, наслідків вирубування лісів тощо; кінцевим результатом екологічного моніторингу є оцінка і прогноз такого стану екосистем, який забезпечує їх екологічну рівновагу.

Моніторинг радіаційний — це система спостережень, кількісної оцінки та контролю за поводженням радіонуклідів у навколишньому середовищі (повітрі, воді, продукції рослинництва і тваринництва та продуктах їх переробки), а також розробка і впровадження комплексу заходів, спрямованих на зменшення надходження радіонуклідів у рослинну, тваринницьку та іншу продукцію, й особливо в організм людини; включає вивчення радіаційної ситуації місцевості, контроль за продукцією, що виробляється і споживається, дотримання та виконання рекомендованих заходів.

Ведення агропромислового виробництва на угіддях, забруднених радіоактивними речовинами, передбачає наявність картографічної основи, де, як правило, наведено потужність доз γ-випромінювання і вміст радіонуклідів у ґрунтовому і рослинному покриві (щільність забруднення). Складання таких карт — найважливіше завдання радіаційного моніторингу навколишнього середовища.

Масштаби і характеристику радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь (γ-зйомка) визначають наземним і повітряним способами.

Основними показниками при оцінці радіаційної ситуації є контрольні рівні забруднення води, ґрунту, повітря і граничні дози опромінення населення.

Наступний етап радіаційного моніторингу — відбирання проб сільськогосподарських об'єктів (рослин, продукції тваринництва та ін.) і визначення в них вмісту радіонуклідів.

На основі інформації про радіологічну ситуацію планують профілактичні заходи, спрямовані на зниження рівнів зовнішнього опромінення і концентрації радіоактивних речовин у молоці, м'ясі, продуктах рослинного походження, в тім числі дикорослих рослин, а також грибів.

Допустимі рівні (ДР) і тимчасово допустимі рівні (ТДР) вмісту радіонуклідів у харчових продуктах і воді наведено в табл. 14.1.

Таблиця 14.1. **Допустимі рівні вмісту радіонуклідів Sr-90 і Cs-137 у продуктах харчування та питній воді** (Бк/кг, Бк/л)

Продукт	Sr-90		Cs-137	
	ТДР–91	ДР–97	ТДР–91	ДР–97
Хліб і хлібопродукти	37	5	370	20
Картопля		20	590	60
Овочі (листкові, коренеплоди, зеленні)		20	590	40
Фрукти		10	590	70
М'ясо і м'ясні продукти		20	740	200
Риба і рибні продукти		35	740	150
Молоко і молочні продукти	37	20	370	100
Яйця (в одному яйці)		2		6
Вода	3,7	2*	18,5	2
Молоко згущене і концентроване	111	60	1110	300
Молоко сухе	185	100	1850	500
Свіжі дикорослі ягоди і гриби		50	1480	500
Сушені дикорослі ягоди і гриби		250	7400	2500
Лікарські рослини		200	7400	600
Інші продукти		200		600
Спеціальні продукти дитячого харчування	37	5	185	40

Методики проведення γ-зйомки, відбирання проб сільськогосподарської продукції та продуктів харчування для лабораторного аналізу на вміст радіонуклідів висвітлено в офіційному виданні «Довідник для радіологічних служб Мінсільгосппроду України» (К., 1997).

Вміст радіонуклідів у продукції, що виробляється в приватних господарствах, вимірюють вибірково.

Радіологічний контроль продукції приватних господарств забезпечується подвірною паспортизацією населених пунктів, розміщених на територіях зі щільністю забруднення понад 5 Кі/м^2 (185 кБк/м^2).

З урахуванням конкретних завдань і цільового призначення розробляють програми радіаційного моніторингу, які встановлюють: вибір об'єктів спостережень, вид, періодичність і частоту вимірювань, методи вимірювань, відбирання зразків і наступний аналіз у радіологічних лабораторіях, що пройшли сертифікацію, статистичну обробку отриманих даних, прогнозування накопичення радіонуклідів, заходи щодо зменшення надходження радіонуклідів у сільськогосподарську продукцію. За нормальної радіаційної обстановки вирішальне значення мають радіаційно-гігієнічні аспекти радіаційного моніторингу сфери сільськогосподарського виробництва — спостереження за рівнем радіоактивного забруднення основних ланок трофічних ланцюгів, що визначають накопичення радіонуклідів у рослинницькій і тваринницькій продукції, яка використовується для харчування людей. Водночас радіаційно-гігієнічний підхід не в усіх випадках достатній для того, щоб забезпечити радіаційну безпеку як людини, так і інших біологічних об'єктів (рослин і тварин).

За певних умов радіоекологічні нормативи впливу на рослини і тварин можуть бути жорсткішими за радіаційно-гігієнічні. Реальні дозові навантаження на людину, з одного боку, та на інші живі об'єкти — з іншого, за надходження радіонуклідів у навколишнє середовище, можуть істотно різнитися — поглинені дози рослинами і тваринами часто бувають більшими, ніж людиною. Наприклад, β-випромінювання не відіграє помітної ролі у зовнішньому опроміненні людини, але визначає основний внесок у дозу, що формується в рослин. Крім того, для забезпечення радіаційної безпеки людини розроблено і здійснюється комплекс ефективних заходів захисту (переселення, регулювання надходження радіонуклідів у забрудненій зоні, постійна або тимчасова заборона споживання продуктів харчування, використання захисних споруд, засобів індивідуального захисту тощо). З економічних і технічних причин застосування активних заходів захисту тварин і рослин дуже обмежене.

Принципи ведення основних галузей сільськогосподарського виробництва на території, забрудненій радіонуклідами

1. Сільськогосподарська діяльність на забрудненій території здійснюється лише за дотримання умов, що не перевищуються дози опромінення за будь-який рік життя і дози опромінення за все життя, якому людина піддається в результаті проживання, виробничої діяльності, ведення приватного господарства.

2. Отримана сільськогосподарська продукція має відповідати радіологічним стандартам і спричинювати мінімальні дози опромі-

нення працівників агропромислового комплексу. Заходи щодо зниження вмісту радіонуклідів у продукції слід проводити з урахуванням їхньої економічної ефективності.

3. Забруднення сільськогосподарської продукції зумовлене надходженням у рослини й організми тварин в основному радіонуклідів цезію-137,134 і стронцію-90. Активність цезію-134 (період піврозпаду — близько двох років) нині до уваги можна не брати. Період піврозпаду цезію-137 і стронцію-90 близькі до 30 років, а практично повний їх розпад відбудеться лише через 300 років. За найближчі 100 років активність їх зменшиться приблизно в 10 разів, що сприятиме нормалізації радіаційного стану на основній частині забрудненої території.

Отже, радіаційна загроза зберігатиметься тривалий час, і для зменшення негативного впливу її на здоров'я людини необхідно здійснювати великомасштабні акції упродовж багатьох десятиліть.

4. Радіонукліди стронцію і цезію надходять у рослини переважно через кореневу систему засвоєнням їх із ґрунту[1]. Коефіцієнти переходу цезію-137 із ґрунту в рослини вже виявляють тенденцію до зниження, а стронцію-90 — практично не змінюються.

Основною складовою дози внутрішнього опромінення є цезій-137. В організмі людини його концентрація швидко стає рівноважною залежно від вмісту його в раціоні, в той час як стронцій-90 накопичується в організмі протягом усього життя людини. В результаті з часом річна доза внутрішнього опромінення людини зменшуватиметься, а рівень вмісту стронцію-90 — зростатиме.

5. Радіонукліди цезію і стронцію досить міцно зв'язані з ґрунтом. Основна їх кількість (90 – 97 %) нині зосереджена у верхньому 10-сантиметровому шарі лучних ґрунтів і орних горизонтів. Змив радіонуклідів зі стоком не перевищує 1 % вмісту на площі за рік, тому його не можна розглядати як чинник ефективної природної дезактивації ґрунтів. Однак надходження радіонуклідів у проточні і непроточні водойми може спричинити підвищення рівня забруднення води, яку використовують для зрошення, що призводить до забруднення ґрунтів, наприклад рисових чеків.

6. У межах водозбірної площі річок та водойм на забруднених територіях для зменшення стоку радіонуклідів організовують водоохоронні зони, де забороняють розорювання ґрунтів, проводять залуження і залісення.

7. Системи землеробства і технології вирощування сільськогосподарських культур мають бути спрямовані насамперед на закріп-

[1] Внесок позакореневого забруднення в сумарну концентрацію радіонуклідів у рослинах оцінюють як 15 – 25 %; його можна зменшити застосуванням спеціальних технологій вирощування культур і збирання врожаю.

лення радіонуклідів у ґрунті з метою зниження інтенсивності їх переходу у рослини, зменшення вітрового перенесення і водної міграції на менш забруднені території, обмеження надходження їх у гідрографічну мережу.

8. Ефективність систем і технологій виробництва продукції слід оцінювати не тільки за показниками зменшення концентрації радіонуклідів у харчових продуктах, а й за їх впливом на рівень родючості ґрунтів та інтенсивністю включення радіонуклідів в ерозійні процеси, за оцінкою радіаційно-гігієнічних умов праці, критерієм «користь — шкода» та іншими чинниками.

9. Критичними продуктами на радіаційно забрудненій території є м'ясо та молоко великої рогатої худоби. Міжнародні нормативи щодо концентрації в них цезію-137 можуть бути перевищені навіть за низьких рівнів щільності забруднення території: 0,5 – 1,0 Кі/км^2 (18,5 – 37,0 Бк/км^2) — на торф'яних ґрунтах, 5,0 – 10,0 Кі/км^2 (185 – 370 Бк/км^2) — на дерново-підзолистих. За різної щільності забруднення території вміст радіонуклідів у продукції тваринництва визначається насамперед типом пасовища, типом і різновидом ґрунтів кормових угідь, структурою раціону тварин. У зв'язку з цим на забруднених територіях особливу увагу слід приділяти організації кормовиробництва.

10. Утримання і годівля тварин на забруднених територіях мають бути орієнтовані на максимальне використання кормів, вирощених на орних землях: коренеплоди, картопля, силосні, зернобобові і злакові культури. Для напування тварин треба використовувати воду з артезіанських свердловини або з відкритих джерел, за якими встановлено радіологічний контроль.

11. Грубі корми для молочної худоби й остаточної відгодівлі треба заготовляти на луках, підданих окультуренню або докорінному поліпшенню.

Випасання тварин рекомендується розпочинати за висоти травостою не менш як 15 см, для чого придатні докорінно поліпшені культурні пасовища.

12. Найефективнішим способом виробництва кормів із низькою концентрацією радіонуклідів є зміна структури землекористування господарств. Високородючості землі з мінімальними рівнями забруднення слід використовувати для виробництва кормів для молочного стада й остаточної відгодівлі худоби м'ясного напряму.

13. Важливою умовою ефективності кормової бази є диференційоване використання кормів з різним рівнем забруднення.

14. Забруднення м'яса і молока значною мірою зумовлене рівнем мінерального живлення тварин, тому збалансованості раціонів за основними елементами (кальцій, калій) та мікроелементами треба

приділяти належну увагу. Для годівлі тварин слід широко застосовувати кормові добавки, які б зменшували перехід радіонуклідів із раціону в організм тварин і продукцію.

15. На територіях, забруднених радіоактивними речовинами, тварини зазнають радіаційного впливу значно більшою мірою, ніж людина. Це потребує суворого дотримання зооветеринарного режиму на фермах, своєчасного проведення в повному обсязі оглядів тварин, вакцинацій та інших профілактичних заходів. Особливу увагу слід приділяти організації племінної справи, добору плідників, недопущенню близькородинних спаровувань та ін.

16. Рівень радіоактивного забруднення продукції рослинництва значною мірою можна знизити проведенням спеціального обробітку ґрунту (переміщення забрудненого шару в глиб, створення ґрунтових екранів, фрезування дернового шару та ін.), застосуванням меліорантів — вапнякових матеріалів, сапропелів, мінеральних добрив з рекомендованим для конкретних умов співвідношенням азоту, фосфору, калію та мікродобрив, проведенням водних меліорацій та ін. Усі наведені технології і заходи разом зі зменшенням переходу радіонуклідів у рослини підвищують рівень родючості ґрунтів, урожайність культур.

17. Вапнування кислих дерново-підзолистих ґрунтів Полісся зменшує перехід радіонуклідів у рослини, проте створює передумови для поширення хвороб картоплі, льону і погіршує якість урожаю цих культур. На територіях з високим рівнем забруднення, де вапнування є обов'язковим, доцільно змінити спеціалізацію господарств у бік скорочення виробництва зазначених культур. Негативний вплив вапнування можна усунути використанням для нейтралізації ґрунтів сапропелів з високим вмістом кальцію.

18. Вапнування кислих ґрунтів призводить до зниження переходу з ґрунту в рослини багатьох мікроелементів, що збільшує їх дефіцит у раціоні людини і тварин. На забруднених територіях особливої уваги потребує складання картограм вмісту рухомих форм мікроелементів у ґрунті і внесення мікроелементів у складі мінеральних мікродобрив. Ефективним способом усунення дефіциту мікроелементів у ґрунтах є внесення сапропелів.

19. Для зменшення ймовірності виявлення дії синергічних ефектів іонізуючої радіації і токсикантів хімічної природи на живі організми заходи щодо захисту сільськогосподарських культур від шкідників і хвороб у зоні підвищеного радіоактивного забруднення ґрунтуються на уточненні популяційних особливостей основних видів шкідників і хвороб з метою скорочення обсягів хімічної обробки і зменшення контакту з пестицидами працівників.

20. Постійне зниження рівня радіоактивного забруднення сільськогосподарської продукції є важливою умовою гарантування без-

пеки населення. Це завдання виконується зміною спеціалізації господарств і планів їх землекористування, проведенням системи заходів, пов'язаних зі значними витратами коштів, матеріальних і трудових ресурсів. Республіканські, обласні і районні органи усіх відомств, у чиїй компетенції знаходяться ресурси і засоби, зобов'язані вжити всіх необхідних заходів для матеріального забезпечення програм, спрямованих на поліпшення радіаційної ситуації.

21. Для виконання агротехнічних, інженерних та зооветеринарних заходів організовують спеціальні курси з підготовки агрономів, інженерів-механіків, зоотехнічних, ветеринарних працівників, які працюють на штатних посадах. У разі потреби в штат господарства рекомендовано вводити посаду спеціаліста-радіолога.

22. Знижувати вміст радіонуклідів у продукції можна за допомогою технологічної її переробки на існуючих і спеціально створюваних у регіонах підприємствах з переробки продукції.

Заходи, спрямовані на зменшення вмісту радіонуклідів у продукції рослинництва

Рослинництво. Запобігання переходу радіонуклідів із ґрунту в рослини — одне з основних завдань сільськогосподарської радіоекології. Залежно від властивостей ґрунту, ступеня його забруднення радіоактивними речовинами, а також від видів вирощуваних сільськогосподарських культур, шляхів їх використання та інших умов вживають різних заходів щодо зменшення надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва.

Їх поділяють на *загальноприйняті* і *спеціальні*. За іншою класифікацією за основу взято *способи захисту ґрунту*: механічні, агротехнічні, біологічні тощо. На практиці іноді важко розмежувати окремі види заходів і вичленити їх дію на ґрунт. Крім того, при їх проведенні доводиться мати справу з комплексом заходів, які організаційно і технологічно пов'язані між собою.

Комплекс заходів, спрямованих на отримання рослинницької продукції, що відповідає радіологічним стандартам, умовно можна розділити на чотири групи: організаційні, агротехнічні, агрохімічні і технологічні.

Організаційні заходи

Організаційні заходи передбачають:

- проведення інвентаризації угідь за показниками щільності забруднення і складання відповідних картограм;
- зіставлення ґрунтових характеристик угідь і даних щодо їх забруднення;
- прогнозування вмісту радіонуклідів в урожаї з використанням довідкових таблиць, де наведено коефіцієнти переходу радіонукліd-

дів із ґрунту залежно від його типу та різновиду, кислотності, рухомих форм елементів, вирощуваної культури тощо;

♦ прогнозування ефективності заходів і рівнів забруднення врожаю після їх проведення;

♦ інвентаризація угідь відповідно до результатів прогнозу і визначення площ, на яких можна вирощувати культури й отримувати продукцію різноманітного використання: для харчових потреб, виробництва кормів, технічної переробки, отримання насіннєвого матеріалу;

♦ зміна структури посівних площ;

♦ організація радіаційного контролю продукції.

Агротехнічні заходи

Видалення або загортання поверхневого шару ґрунту. Після випадання радіоактивних опадів радіонукліди концентруються переважно у верхньому (2 – 4 см) шарі ґрунту. З теоретичного погляду радикальним способом різкого зменшення забруднення ґрунту (до 10 разів) може бути видалення поверхневого шару (4 – 5 см) з подальшим його похованням. Практично це питання здійснити важко через великі об'єми земляних робіт і невирішені проблеми із похованням ґрунту (маса 5-сантиметрового шару ґрунту з площі 1 га — близько 750 т).

Це питання певною мірою можна вирішити глибоким загортанням верхнього шару ґрунту. Тому ефективним прийомом у перші дні після аварії на ЧАЕС і випадання радіонуклідів на високородючих ґрунтах було загортання забрудненого шару спеціальним плантажним плугом на глибину 45 – 50 см з перевертанням скиби та наступний поверхневий обробіток дисковими знаряддями й окультурення вигорненого підорного шару. Цей прийом дав змогу у 3 – 4 рази зменшити щільність поверхневого забруднення ґрунту і в 5 – 6 разів — надходження радіонуклідів у рослини.

Ефективність такої оранки вища на ґрунтах важкого гранулометричного складу з глибоким (40 – 45 см) орним шаром за вирощування сільськогосподарських культур із мичкуватою кореневою системою. Звичайно, таку оранку не слід проводити на малопотужних (орний шар — до 20 см) дерново-підзолистих ґрунтах, бо це може призвести до різкого зменшення родючості ґрунту і навіть до повної її втрати. У цьому разі оранку треба проводити ярусними плугами, які зміщують шари ґрунту, або виконувати її в два прийоми: спочатку плантажну оранку на глибину 40 – 45 см із перевертанням скиби, а потім повторну — на глибину 30 – 35 см, що дасть змогу вивернути на поверхню 10 – 20-сантиметровий шар більш родючого ґрунту з подальшим його окультуренням і поверхневим обробітком дисковими знаряддями.

Вважають, що загальноприйнятий спосіб обробітку ґрунту плугами з передплужниками перемішує шари ґрунту, але не забезпечує

помітного зменшення надходження радіонуклідів у рослини. Проте слід пам'ятати, що навіть незначне (4 – 5 см і більше) заглиблення орного шару без попереднього лущення помітно знижує надходження радіонуклідів у рослини, оскільки верхній 5-сантиметровий шар ґрунту заробляється глибше, ніж за звичайної оранки.

Збільшення площ під культури з низьким рівнем накопичення радіонуклідів. Різні види і навіть сорти рослин з неоднаковою інтенсивністю поглинають і накопичують у своїх органах радіонукліди. Добір культур і сортів, які різняться за здатністю накопичувати в урожаї мінімальні кількості радіоцезію і радіостронцію — найпростіший і найдешевший захід зниження вмісту цих радіонуклідів у рослинницькій продукції. Як правило, види і сорти сільськогосподарських культур із низьким вмістом калію і кальцію мало накопичують радіонуклідів цезію і стронцію. Каліефільні рослини, такі як люпин, амарант, гречка, картопля, буряки та інші, разом із калієм нагромаджують великі кількості його аналогів — одновалентних елементів, у тім числі стабільного і радіоактивного цезію.

Кальціефільні рослини (усі бобові), насамперед такі, як люпин, вика, люцерна, конюшина, боби, горох, квасоля, разом із кальцієм накопичують його аналоги — двовалентні катіони й передусім стронцій.

Бобові культури накопичують значно більше стронцію-90 і цезію-137, ніж злакові. Поглинання рослинами мінеральних солей певною мірою залежить від катіонообмінної ємності (КОЄ) їхніх коренів.

КОЄ злакових культур у 2 – 3 рази менша, ніж бобових. Мабуть ця різниця КОЄ коренів бобових і злакових і визначає відмінність у накопиченні цезію і стронцію різними культурами.

За збільшенням здатності до накопичення радіоцезію в урожаї зерна на одному й тому самому ґрунті, за однакової щільності забруднення сільськогосподарські рослини можна розмістити в такий ряд: кукурудза, ячмінь, пшениця озима, пшениця яра, тритикале, просо, жито, овес, боби, соя, горох, гречка, вика, люпин жовтий; кормові культури: кукурудза, кострець, вівсяниця, суріпка, грястиця збірна, вика, ріпак, люцерна, конюшина, капуста кормова, буркун, амарант, люпин жовтий; технічні культури: льон, соняшник, буряки цукрові (корені), ріпак, редька олійна; овочеві: баклажани, цибуля городня, томати, гарбузи, петрушка, огірки, картопля, морква, салат, буряки столові, капуста, щавель. Слід відмітити, що в побічний продукції (солома зернобобових) радіоцезію накопичується в 2 – 3 рази більше, ніж у зерні, за винятком люпину жовтого (табл. 14.2).

Рівень забруднення урожаю однієї й тієї самої культури залежить як від щільності забруднення, так і від агрохімічних властиво-

стей ґрунтів. Чим вища окультуреність ґрунту (чим більший вміст у ньому гумусу, а також кальцію, калію, глинистих і колоїдних фракцій), тим менше накопичується радіоцезію в урожаї однієї й тієї ж культури.

Таблиця 14.2. **Коефіцієнти переходу $K_п$ цезію-137 в рослини з дерново-підзолистого супіщаного ґрунту залежно від біологічних особливостей культур**

Культура	$K_п$, Бк/кг		Культура	$K_п$, Бк/кг	
	Зерно	Солома		Зерно	Солома
Кукурудза	3,3	20,0	Овес	22,6	36,5
Ячмінь	4,1	8,8	Соя	32,9	51,8
Пшениця озима	4,4	13,7	Боби	34,4	35,4
Пшениця яра	5,6	11,5	Горох	37,4	51,1
Тритикале	6,7	10,7	Гречка	41,8	49,6
Просо	7,0	32,9	Вика	47,7	87,7
Жито	8,1	15,2	Люпин жовтий	242,7	128,8

Розміщення культур з урахуванням їх біологічних особливостей, властивостей та щільності забруднення ґрунтів, дасть змогу регулювати рівні забруднення врожаю.

Згідно з рекомендаціями Інституту землеробства УААН, на забруднених територіях слід застосовувати такі сівозміни:

• на дерново-підзолистих піщаних ґрунтах за щільності забруднення 370 – 555 кБк/м^2:

1) озимі на зелений корм + післяукісна кукурудза на зелений корм;
2) озиме жито;
3) картопля;
4) овес;

• на дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах:

1) кукурудза на зелений корм та силос;
2) озиме жито;
3) картопля;
4) ячмінь з підсівом багаторічних трав (злаково-бобові сумішки);
5) багаторічні трави;
6) пшениця;

• на сірих лісових суглинкових ґрунтах та чорноземах обмежень щодо видового складу і чергування культур у сівозміні немає.

Запобігають вторинному забрудненню рослин скороченням кількості міжрядних обробітків, виконанням робіт по вологому ґрунту, використанням широкозахватної техніки, комбінованих агрегатів, сільськогосподарської авіації.

Меліорація природних лук і пасовищ. У рослинництві найкритичнішою ланкою є виробництво кормів, насамперед на природних сі-

нокосах і пасовищах. Отримувати нормативно чисті корми на природних сінокосах і пасовищах дуже складно, тому що через низку особливостей міграція радіонуклідів на них інтенсивніша, ніж на орних землях. Концентрація радіонуклідів у кормах, заготовлених на природних луках, залежить від багатьох чинників і насамперед від типу луків, режиму зволоження та видового складу травостою.

Якщо з природних кормових угідь неможливо отримати продукцію, що відповідає допустимим рівням забруднення радіонуклідами, необхідно вжити спеціальних заходів щодо поліпшення сінокосів і пасовищ з метою максимального зниження надходження радіонуклідів у корми. Коли ж і спеціальні заходи не дають бажаного ефекту, то в міру можливості кормові культури треба вирощувати в умовах кормових і польових сівозмін.

Поверхневе поліпшення природних луків. При випасанні великої рогатої худоби на бідних природних пасовищах забруднення молока радіонуклідами в 2 – 3 рази вище, ніж у разі випасання на луках із добрим травостоєм, що пов'язано з мимовільним поїданням тваринами часточок ґрунту і дернини.

На таких луках рекомендуються заходи, які б сприяли підвищенню їх продуктивності: підсівання травосумішей, внесення добрив, вапнування кислих ґрунтів. Внесення норми вапна, розрахованої за гідролітичною кислотністю ($Н_г$) ґрунту, з наступним легким боронуванням дернини як правило забезпечує зниження переходу радіонуклідів із ґрунту в травостій в 1,5 раза, а внесення суміші добрив $N_{60}P_{90}К_{120}$ і вапна — зниження переходу цезію-137 в біомасу рослин до 4 разів.

Поверхневе поліпшення природних луків включає комплекс заходів, що сприяють підвищенню продуктивності та якості травостою, знижують у ньому вміст радіонуклідів. Як правило, його практикують на піщаних ґрунтах та у випадках, коли не можна переорювати луки через загрозу ерозії або коли у складі травостою збереглось до 50 % цінних бобових і злакових трав. Для поверхневого поліпшення треба використовувати легкорозчинні форми мінеральних добрив (небажаним є застосування фізіологічно кислих добрив), які вносять без порушення дернини машиною МВМ-10 (виробник «Бобруйськферммаш»). На затоплюваних луках добрива вносять лише після спадання паводку. На суходільних угіддях фосфорні та калійні добрива краще вносити восени, азотні — навесні. Дози добрив встановлюють залежно від вмісту рухомих форм поживних речовин у ґрунті, складу травостою, рельєфу, гранулометричного складу ґрунту та інших чинників. Фосфорні та калійні добрива в початковий період на забруднених радіоактивними елементами ґрунтах краще вносити в підвищених дозах із розрахунку 120 – 180 кг/га, що сприяє зниженню переходу радіонуклідів у травостій в 1,5 – 2 рази. Через

кілька років, коли ґрунт збагатиться рухомими формами фосфору та калію, можна переходити до оптимальних доз (90 – 120 кг/га).

Азотні добрива в умовах радіоактивного забруднення слід вносити в помірних дозах — 60 – 90 кг/га, краще по половині дози — навесні і після першого укосу. Всі роботи щодо поверхневого поліпшення виконують згідно з розробленими технологіями.

Докорінне поліпшення природних кормових угідь. Як засвідчують польові дослідження і практика, докорінне поліпшення є одним із найефективніших заходів зниження забруднення природних кормових угідь відразу після аварії. Воно дає змогу зменшити надходження радіонуклідів із ґрунту в лучні трави у 16 разів, щоправда на практиці ефективність такого зниження не перевищує 2 – 10 разів. Повторне докорінне поліпшення луків забезпечує зниження надходження радіонуклідів із ґрунту в лучні трави лише в 2 – 3 рази.

Важливу роль у комплексі робіт щодо докорінного поліпшення природних кормових угідь відіграють вапнування і застосування добрив. Вапнують ґрунти з розрахунку 1,5 норми $CaCO_3$, розрахованої за гідролітичною кислотністю. Вносять добрива диференційовано, залежно від родючості ґрунту та його типу. Як і в разі поверхневого поліпшення, в початковий період на малородючих ґрунтах природних кормових угідь треба застосовувати підвищені дози фосфорних і калійних добрив із розрахунку 180 – 200 кг/га діючої речовини і помірні дози азотних (40 – 60 кг/га) для зниження надходження радіонуклідів із ґрунту в лучні трави. Через кілька років після окультурення ґрунту добрива можна вносити в орієнтовно-оптимальних дозах.

Важливе значення має видовий склад травостою луків. Різні види трав здатні накопичувати неоднакову кількість радіонуклідів. Відомо наприклад, що злаки накопичують стронцію-90 в 1,5 раза більше, ніж кореневищні, а бобові трави — в 2 рази більше, ніж злаки.

Ранні злакові суміші характеризуються відносно меншим накопиченням радіоцезію, ніж пізні, однак за високої інтенсивності випасання, коли вносять високі норми азотних добрив, використання пізніх трав виявляється ефективнішим, особливо в суміші з бобовими травами. Для підвищення вмісту кормового білка рекомендується підсів конюшини червоної в суміші з ранніми злаковими і конюшини білої — в суміші з пізніми. При цьому вміст цезію-137 у кормі буде значно нижчим (до 2 разів), ніж у разі внесення азотних добрив.

Агрохімічні заходи

Вапнування кислих ґрунтів. Радіоактивні речовини часто надходять у навколишнє середовище у вигляді нерозчинних і важкорозчинних необмінних форм. Однак із часом при контакті з водою, киснем повітря вони можуть переходити в розчинний обмінний стан, особливо цьому сприяє кисла реакція середовища. Рослини,

що ростуть на кислих ґрунтах, поглинають більше радіонуклідів, ніж ті, що ростуть на нейтральних чи лужних. У зв'язку з цим вапнування кислих ґрунтів не тільки поліпшує умови росту рослин, а й зменшує надходження в них радіонуклідів.

Вапнування кислих ґрунтів, забруднених радіонуклідами, — один з основних заходів гальмування переходу радіонуклідів, насамперед ^{90}Sr, з ґрунту в рослини. За узагальненими даними різних авторів, отриманими за 17 років, що минули після аварії на Чорнобильській АЕС, воно забезпечує зниження вмісту радіостронцію у картоплі в 5 – 10 разів, у сіні бобових трав — у 6 – 8, овочах — в 4 – 6, в ягодах — у 5 разів. Для радіоцезію ці величини, як правило, дещо менші.

Внесення вапна ефективне в дозах, що нейтралізують кислу реакцію ґрунтового розчину. Дози вапна розраховують за гідролітичною кислотністю даного ґрунту або за pH сольової витяжки ґрунту з урахуванням його гранулометричного складу. З метою зменшення накопичення врожаєм радіостронцію і радіоцезію можна вносити не тільки вапно, а й інші вапнякові матеріали природного і промислового походження: різноманітні вапняки, доломіт, мергель, дефекат, відходи металургійної промисловості. Особливо цінними є вапнякові матеріали, які крім кальцію містять різні мікроелементи і магній. Хімічний аналог кальцію і стронцію — магній також може вступати в конкурентні взаємовідносини зі стронцієм і знижувати його вміст в рослинах.

Застосування мінеральних і органічних добрив. Різні мінеральні добрива по-різному впливають на надходження радіоцезію в рослини. Фізіологічно кислі азотні добрива (аміачна селітра, карбамід) спричинюють підвищення накопичення радіоцезію в урожаї, фосфорні — мало впливають на накопичення радіоцезію рослинами або дещо знижують його. Однак, згідно з результатами науково-дослідних установ і практики, внесення фосфорних добрив зменшує накопичення ^{90}Sr практично усіма видами рослин у 2 – 6 разів.

Основним елементом живлення рослин, що знижує накопичення радіоцезію в урожаї, є калій. Механізм впливу калійних добрив спрацьовує за будь-якої дози калію, внесеного в ґрунт, але величина зниження рівнів забруднення врожаю з кожним збільшенням дози добрив зменшується.

Ефективність одних і тих самих доз калійних добрив також знижується зі збільшенням початкового вмісту обмінного калію в ґрунті. За вмісту обмінного калію понад 100 мг/кг ґрунту ефективність калійних добрив як засобу зниження рівня забруднення врожаю різко зменшується.

У зв'язку з тим що азотні добрива сприяють накопиченню радіонуклідів в урожаї, ефективність калійних добрив, які застосовують у складі повного мінерального добрива, знижується.

Для забезпечення мінімального надходження радіонуклідів дози фосфорних і калійних добрив слід збільшувати відповідно в 1,5 і 2,0 рази відносно дози азоту, розрахованої на запланований урожай, а за великої щільності забруднення дерново-підзолистих ґрунтів легкого гранулометричного складу співвідношення N : P : K має бути 1 : 2 : 3.

Внесення в бідний на поживні речовини ґрунт органічних добрив (гною, сапропелів, компостів) істотно збільшує ємність вбирання ґрунту, знижує кислотність, сприяє утворенню комплексних органомінеральних сполук із радіонуклідами, внаслідок чого доступність останніх для рослин значно знижується. Тому застосування органічних добрив підвищує родючість ґрунтів, урожайність культур, сприяє зниженню радіоактивного забруднення врожаю сільськогосподарських культур в 1,5 – 3 рази за дози внесення 50 – 80 т/га. Проте слід пам'ятати, що коефіцієнт переходу радіоцезію зі свіжого гною в рослини значно вищий, ніж із ґрунту. У зв'язку з цим рекомендується вносити в ґрунт перепрілий гній, що містить незначну кількість радіонуклідів.

У сучасних умовах з року в рік зростає дефіцит традиційних органічних добрив, тому дедалі актуальнішим стає пошук альтернативних їх джерел. З місцевих органічних добрив велике значення мають сапропель, торфотуфи, мул. Відмінними органічними добривами є біогумус (вермикомпости) — продукт переробки органічних решток каліфорнійськими дощовими черв'яками і фермвей — продукт біологічної ферментації аеробними термофільними бактеріями гною, пташиного посліду та інших відходів тваринного походження разом із тирсою, соломою, корою, кукурудзяними качанами, відходами паперових фабрик тощо.

Великого значення набуває правильне використання зелених органічних добрив (сидератів), побічної продукції сільськогосподарських культур.

Застосування спеціальних речовин. Серед багатьох природних і штучних речовин, за внесення яких у ґрунт зменшується надходження радіонуклідів у рослини, можна виділити дві основні групи — адсорбенти і комплексонати. *Адсорбенти* поглинають радіонукліди і роблять їх недоступними для рослин, *комплексонати* — утворюють із радіонуклідами складні сполуки, переводять їх у важкорозчинні, не засвоювані рослинами форми або, навпаки, — легкорозчинні, які вимиваються з кореневмісного шару в нижчі шари ґрунту.

Як адсорбенти найчастіше застосовують деякі мінерали, що виявляють високу сорбційну здатність стосовно радіонуклідів. До них належать цеоліти, іліти, вермикуліти, монтморилоніти, гідрослюди, дещо слабкішими сорбентами є каолініти, слюди, бентонітові глини, глауконіти тощо. Часто ці мінерали слугують меліорантами, оскіль-

ки їх внесення значно поліпшує фізико-хімічні властивості ґрунту, створює сприятливіші умови для росту і розвитку рослин. Їх можна розкидати по поверхні ґрунту з наступним заорюванням плугами з передплужниками на глибину 30 – 35 см або створювати прошарки в ґрунті — екрани.

Заходом прямого зменшення надходження радіоактивних речовин у сільськогосподарські культури є обприскування ґрунту розчинами спеціальних хімічних сполук, які утворюють на ньому важкорозчинні у воді плівки. Вони гальмують вторинне перенесення з пилом радіоактивних часточок і тим самим занижують ступінь аерального забруднення рослин та інших організмів радіоактивними речовинами.

Для видалення радіонуклідів з орного шару рекомендується промивати його розбавленими розчинами соляної та сірчаної кислот, нітрату і сульфату амонію та кальцію, хлорного заліза. Всі розглянуті спеціальні способи зменшення надходження радіоактивних речовин у рослини здебільшого дуже дорогі, тому їх слід застосовувати за дуже високої щільності забруднення на невеликих площах.

Технологічні заходи

Промивання і первинне очищення зібраних плодів і овочів, переробка забрудненої сільськогосподарської продукції забезпечують істотне зниження вмісту радіонуклідів у кінцевому продукті. Навіть така проста процедура, як відмивання в проточній воді, дає змогу знизити забруднення томатів і огірків у 3 – 6 разів. Відмивання у воді стебел льону, конопель зменшує їх забруднення радіонуклідами у 3 – 4 рази. Видаленням плівок гречки, ячменю, вівса при переробці на крупи зменшують їх забруднення в 10 – 15 разів, а переробкою пшениці на крохмаль і спирт — відповідно в 50 і 1000 разів.

Застосуванням раціональних способів збирання зернових, овочевих і кормових культур запобігають вторинному забрудненню урожаю. Так, при збиранні зернових колосових культур перевагу слід віддавати прямому комбайнуванню, при вирощуванні льону — підсівати багаторічні бобово-злакові трави, що значно зменшує контакт вибраної соломи з ґрунтом, при збиранні багаторічних трав і льону слід застосовувати механізовані технології, щоб зменшити вплив запилення на працівників.

Заходи, спрямовані на зменшення вмісту радіонуклідів у продукції тваринництва

Щоб отримати чисту тваринницьку продукцію, основну увагу слід приділяти організації годівлі тварин кормами з окультурених пасовищ і заготівлі кормів на високородючих мінеральних ґрунтах польових сівозмін.

Можна виділити чотири напрями зниження вмісту радіонуклідів у продукції тваринництва.

Зменшення вмісту радіонуклідів у продукції тваринництва під час пасовищного утримання тварин. У весняно-літньо-осінній період тварин рекомендується випасати на луках із травостоєм не нижче як 10 см. Це значно зменшує надходження радіоактивних речовин з дерниною і землею, в яких міститься велика кількість радіонуклідів. За можливості треба використовувати тільки поліпшені пасовища і підгодовувати худобу концентрованими кормами із сорбентами.

Зміна режиму годівлі і складу раціонів тварин. При організації кормової бази на забрудненій території можна отримувати корми з різною концентрацією радіонуклідів за однієї й тієї ж щільності забруднення ґрунту. Добором кормових культур у раціон тварин і включенням рослин із найменшим вмістом радіонуклідів (зернові колосові, кукурудза, корене- і бульбоплоди) можна знизити концентрацію радіоцезію і радіостронцію в молоці та м'ясі. Добрі результати дає використання сорбентів (фероцин, органо-мінеральні болюси, хумоліт), що зменшують накопичення радіонуклідів у організмі тварин. Раціони треба збагачувати мікроелементами, які сприяють поліпшенню здоров'я, підвищують продуктивність тварин і поліпшують якість продукції.

Технологічна переробка продукції тваринництва. Зниженню вмісту радіонуклідів у продукції тваринництва сприяють традиційні методи технологічної обробки. Так, під час переробки молока значна частина радіонуклідів переходить у відвійки, сколотини та сироватку. Дуже низький вміст радіонуклідів у вершковому маслі, особливо в топленому. Переробкою м'ясної продукції добиваються зниження вмісту радіонуклідів у готовому продукті. При варінні кісток у бульйон переходить незначна частина радіостронцію (0,04 %) і до 7,0 % радіоцезію. Варінням м'яса вміст радіоцезію в ньому знижують у 3 – 6 разів. Попереднє вимочування дрібнонарізаного м'яса у воді або 0,85%-му розчині кухонної солі забезпечує видалення з нього 30 – 50 % радіоцезію. Внаслідок перетоплення сала вміст радіоцезію у смальці знижується в 20 разів.

Перепрофілювання галузей тваринництва. Перепрофілювання галузей тваринництва, наприклад заміна молочного скотарства на м'ясне або скотарства на свинарство, — найрадикальніший, але й економічно найдорожчий захід. Найчистіше м'ясо отримують при вирощуванні свиней, найбільша кількість радіонуклідів накопичується в продукції вівчарства, що пов'язано з біологічними особливостями тварин, способами їх утримання, годівлі тощо. Якщо отримана в господарстві тваринницька продукція непридатна для споживання людиною, тут доцільно організувати виробництво продукції звірівництва.

14.2. Фітотоксичність важких металів, шляхи їх надходження у ґрунт

Вплив людини на біосферу складний і різноманітний, що досить часто призводить до незворотних змін у ній, порушує рівновагу потоків речовин і енергії в екосистемах. Ці зміни часто спричинюють деградацію природного середовища життя людини.

В усіх компонентах біосфери інтенсивно накопичуються викинуті людиною шкідливі речовини у кількостях, що значно перевищують їх природний вміст. Потоки техногенних речовин характеризуються широким спектром органічних і неорганічних сполук, більшість з яких є токсичними, мутагенними і канцерогенними для живих організмів. Серед неорганічних сполук чільне місце посідають важкі метали, які є дуже токсичними. Їх надходження в біосферу у великих кількостях може призвести до критичного її забруднення. Важкими металами вважають хімічні елементи з атомною масою понад 40, які виявляють властивості металів і мають густину > 5 г/см^3. До цієї категорії належить 40 елементів. Визначення «важкі метали» умовне, оскільки в цю групу входять мідь, цинк, молібден, кобальт, манган, залізо, які відіграють позитивну біологічну роль і є мікроелементами, життєво необхідними для рослин і тварин. У разі надмірного їх накопичення вони стають токсикантами — важкими металами. Більшість усіх шкідливих речовин, що міститься в повітрі, з часом потрапляє на поверхню землі та в ґрунт і залежно від їх кількості, тривалості дії і фізико-хімічних властивостей ґрунту їх негативний вплив виявляється по-різному.

За ступенем можливого негативного впливу важких металів — забрудників ґрунту, організмів рослин, тварин і людини — їх поділяють на три класи: високонебезпечні, небезпечні та малонебезпечні.

До першого класу належать арсен, кадмій, ртуть, селен, свинець, цинк, фтор; до другого — бор, кобальт, нікель, молібден, стибій, хром; до третього — барій, ванадій, манган, стронцій.

Основними джерелами надходження важких металів на земну поверхню є викиди пилу і газів підприємствами гірничорудної, металургійної та хімічної промисловості. Забруднення ґрунтового покриву дуже тісно пов'язане з роботою теплоелектростанцій, експлуатацією автомобільного та залізничного транспорту, із застосуванням у сільськогосподарському виробництві добрив і пестицидів, меліорантів, використанням для зрошення забруднених побутових і промислових стічних вод. Рівень забруднення ґрунту та просторове поширення важких металів залежать від потужності підприємств-забрудників, якості перероблюваної сировини, технології виробництва, ефективності роботи очисних споруд.

Забруднення ґрунтового покриву носить переважно локальний характер, і максимум його припадає на території, розміщені неподалік (15 – 20 км) від підприємств. Біля металургійних заводів утворюються зони інтенсивного забруднення ґрунтів свинцем, ртуттю, кадмієм, міддю, цинком. Свинцеплавильні підприємства крім свинцю та цинку викидають кадмій, мідь, ртуть, арсен, селен та інші, що є головними забрудниками. Забруднення хромом характерне для територій, прилеглих до цементних заводів і нафтопереробних підприємств. У зонах забруднення вміст важких металів може сягати кількох грамів на 1 кг ґрунту, що перевищує допустимі рівні у сотні і тисячі разів. Такі території не можна використовувати як сільськогосподарські угіддя без попереднього їх оздоровлення. Землі, розташовані вздовж шляхів, значною мірою забруднені свинцем, що міститься в антидетонаційних присадках до бензину, а з продуктами згоряння дизельного палива, мастильними матеріалами в довкілля надходять кадмій і цинк.

Найбільше забруднені ґрунти на відстані 7 – 10 м від автошляху, а в зоні 30 – 80 м відмічається зниження врожайності і різке погіршення якості сільськогосподарської продукції.

Забрудниками ґрунтів є також мінеральні добрива, пестициди і хімічні меліоранти, в яких містяться великі кількості баластних речовин, у тім числі токсичні елементи і сполуки. У фосфорних добривах містяться такі важкі метали, як мідь, цинк, кадмій, свинець, нікель, хром. Азотні й калійні добрива забруднені важкими металами меншою мірою. Небезпечним для ґрунту є систематичне використання як добрив осадів стічних вод, забруднених важкими металами. Стічні води шкіряних, годинникових та інструментальних заводів істотно забруднені хромом, підприємств електронної промисловості — кадмієм, великих міст із розвиненим автотранспортом — свинцем.

Постійне надходження важких металів у ґрунт спричинює формування зон підвищеної екологічної токсичності. У межах цих зон змінюються характер міграції елементів і деякі геохімічні параметри ґрунту. Швидкість і напрям процесів їх трансформації залежить від реакції середовища, гранулометричного складу ґрунту, вмісту в ньому гумусу тощо.

Токсичність важких металів для рослин пов'язана з їх рухливістю в ґрунтах. Ґрунт слугує потужним бар'єром для їх потоків.

Важкі метали забруднюють не лише ґрунти. До 30 – 40 % важких металів та їхніх похідних потрапляють із ґрунту в підґрунтові води. Внаслідок накопичення у верхніх горизонтах ґрунту надлишку важких металів збіднюється видовий склад рослин, знижуються темпи їх росту та розвитку, схожість насіння культурних і дикорослих видів. Під дією забруднення гинуть лісові насадження і трав'яний покрив, знижується врожайність сільськогосподарських культур, різко погіршується якість продукції.

Мінімізація забруднення рослин важкими металами. Забруднення рослин важкими металами значною мірою залежить від валового вмісту їх у ґрунті. Фоновий вміст хімічних речовин у ґрунті — це вміст, який відповідає його природному хімічному складу. За валового вмісту забруднювальної речовини у ґрунті (в тім числі важких металів), що перевищує гранично допустимі рівні, визначають рухому форму цієї забруднювальної речовини, оскільки власне рухомі форми становлять реальну загрозу для екосистем.

Треба пам'ятати, що розчинність сполук техногенних елементів (у складі викидів) у 1,5 – 2 рази вища порівняно зі сполуками самого ґрунту, де вони знаходяться переважно у складі силікатів.

Важливе значення для ліквідації наслідків забруднення ґрунтів важкими металами мають запобіжні заходи, що базуються на вдосконаленні технологій виробництва, в тім числі правильному застосуванні агрохімікатів.

Для очищення стічних вод, які використовують як добрива, придатні різні речовини: вапняки, іонообмінні смоли, синтетичні сорбенти. Вже наявне забруднення ліквідують за допомогою матеріалів, які зв'язують важкі метали в недоступні для рослин форми (органічні і мінеральні добрива, цеоліти, вапняки, синтетичні смоли та ін.). Рекомендується також вирощувати культури, толерантні до забруднення або призначені для задоволення технічних потреб.

На сильно забруднених територіях практикують видалення забрудненого шару ґрунту з наступним вилученням важких металів переведенням їхніх сполук у рухому форму з подальшим вимиванням розчином $FeCl_2$ у кислому середовищі. Внесення в ґрунт солей заліза поліпшує його фізичний стан: відбувається агрегатування ґрунтів за рахунок клеючого ефекту залізогуматних комплексів.

Після завершення очищення проводять комплексне окультурення ґрунту; вносять органічні і мінеральні добрива, вапнують, внаслідок чого компенсуються втрати біогенних компонентів при промиванні. Дешевший спосіб рекультивації ґрунтів — внесення речовин-інактиваторів (іонообмінні смоли), які утворюють з металами хелатні сполуки з добрими в'яжучими властивостями. Їх застосовують у кислотній або сольовій формі; вносять у ґрунт у вигляді порошку або гранул у дозах, які визначаються рівнем забруднення. Так, натрієва форма катіоніту необмінно вбирає близько 95 % свинцю.

Основою хімічних меліорацій також є процес переведення важких металів у недоступну для рослин форму здебільшого зміною реакції середовища, що досягається вапнуванням. За нейтрального середовища в ґрунті утворюються колоїди гідроксидів важких металів. Найбільший ефект виявляється в разі сумісного внесення вапна і мінеральних добрив, оскільки останні компенсують негативну дію

надлишку важких металів, а вапнування забезпечує утворення менш рухливих сполук металів (карбонатів, фосфатів, гідроксидів) і, як наслідок, значне зменшення вмісту цих елементів у рослинах.

Рухливість важких металів значною мірою знижують органічні добрива, які утворюють з ними слабкорозчинні органо-мінеральні сполуки.

Для зниження фітотоксичності важких металів можна використовувати природні цеоліти, які мають не тільки сорбційні властивості, а й забезпечують рослини елементами живлення і поліпшують структуру ґрунту.

Значне місце відводиться самим рослинам. Так, за ступенем зменшення стійкості до токсичної дії важких металів рослини можна розмістити в такий ряд: трави, злакові зернові, картопля, цукрові буряки.

За однакового вмісту свинцю в ґрунті (1000 мг/кг) картопля і томати мало накопичують цього елемента, а морква і редиска акумулюють його в кількостях, що в 1,5 – 2 рази перевищують гранично допустимі рівні. Особливо небажано вирощувати на забруднених ґрунтах листкові овочі — салат, шпинат, щавель, цибулю та ін. Не слід використовувати їх і для вирощування кормових культур, оскільки тваринам згодовують ті частини рослин і в тій фазі розвитку, коли в них накопичується особливо багато металів.

14.3. Рекультивація земель

Збільшення обсягів видобутку корисних копалин, особливо відкритим способом, призвело до утворення великих площ порушених земель. Порушення гірничорудною промисловістю природних ландшафтів завдає навколишньому середовищу дуже великих збитків. Окремі кар'єри займають площі до 2 – 3 тис. га, а їх глибина — до 200 м і більше. Внаслідок цього знищується рослинність, руйнується ґрунтовий покрив, знижується рівень підґрунтових вод, у техногенний процес ландшафтоутворення залучаються екологічно невластиві, а частіше біологічно шкідливі геохімічні елементи, які виносяться на поверхню в кількостях, набагато більших, ніж у звичайному природному колообігу.

Встановлено, що порушені ділянки негативно впливають на довколишню територію, її площа приблизно в 10 разів більша за площу безпосереднього порушення.

Ландшафти, порушені при видобуванні корисних копалин (вугілля, залізної руди, ільменіту, гранітів, торфу та ін.), рекультивують. *Рекультивація земель* — це комплекс заходів щодо відновленню господарської, санітарно-гігієнічної та естетичної цінності порушених земель, поліпшення умов довкілля відповідно до інтересів суспільства. Процес рекультивації земель складається з двох етапів.

На першому проводять *технічну рекультивацію*, яка включає планування поверхні відвалів, засипання кар'єрів, ровів, вирівнювання поверхні, формування родючого шару ґрунту. Технологію створення придатних для сільськогосподарського використання рекультивованих земель необхідно будувати так, щоб зібраний у бурти до початку виконання видобувних робіт родючий шар ґрунту (20 – 60 см) безпосередньо вкладати на сплановану поверхню промислових відвалів. Глибина шару торфу, що залишається після торфорозробок, необхідного для забезпечення водно-повітряного і поживного режимів на торфовищах у разі їх рекультивації, має становити: для вирощування сільськогосподарських культур — не менш як 0,5 м; для лісорозведення — не менш як 0,3 м; для використання під водойми, ставки (рибницькі господарства та інші цілі) — 0,15 м. Бурти чи штабелі заввишки 5 – 15 м за тривалого зберігання засівають багаторічними бобово-злаковими травами.

Товщина покривного шару ґрунту має бути 30 – 60 см, що забезпечує врожаї культур на рівні, близькому до непорушених земель. На рівень родючості насипного шару різних типів ґрунтів впливають склад і властивості підстильних гірських порід, на які його кладуть. Найсприятливішими гірськими породами є лес, лесоподібні суглинки, піщано-глинисті відклади.

Другий етап передбачає роботи з біологічної рекультивації. *Біологічна рекультивація* — це комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на відновлення рослинності, заселення культурних рас мікроорганізмів, черв'яків, комах, птиці тощо. Вона може бути сільськогосподарською або лісовою. На рекультивованих землях застосовують парозернопросапні, трав'яно-зернопросапні чи трав'яно-зернові сівозміни залежно від насипаного шару ґрунту, його родючості і зони розміщення.

На рекультивованих землях можна вирощувати зерняткові і кісточкові плодові культури, ягідники. На відновлених землях (особливо в перші 1 – 5 років освоєння) треба вносити підвищені (на 20 – 30 %) норми органічних і мінеральних добрив.

На певній частині порушених земель (25 – 30 %), що є гірськими виробками, і прилеглих до них схилах відвалів, малопродуктивних землях формують агроценози іншого цільового призначення (без ґрунтового покриву). Це лісові насадження, кормові і мисливські угіддя, водойми, рекреаційні зони.

Рекультивація під лісогосподарське використання відіграє важливу роль в оптимізації структури і функцій незалісених ландшафтів. Крім того, з метою поліпшення агроландшафтів вдаються до екологічно обґрунтованого регулювання річок, боліт і озер, поліпшують фізико-хімічний склад ґрунтів.

Запитання для самоконтролю

1. Що таке радіація? **2.** Назвіть основні шляхи міграції радіонуклідів сільськогосподарськими ланцюгами. **3.** Як іонізуюче випромінювання впливає на рослини? **4.** Якими шляхами радіонукліди потрапляють у тваринницьку продукцію? **5.** Перелічіть основні заходи щодо обмеження надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва. **6.** Схарактеризуйте технологічні заходи, спрямовані на зменшення надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва і тваринництва. **7.** Як впливають на довкілля важкі метали?





Розділ 15

БІОЛОГІЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, БІОТЕХНОЛОГІЇ

15.1. Передумови, завдання і принципові особливості

Індустріальний підхід до розвитку систем ведення сільськогосподарського виробництва безумовно сприяв (особливо на перших етапах) істотному нарощуванню виробництва біологічної продукції. В середині XX ст. середня урожайність зернових культур у розвинених країнах зросла приблизно втричі, якісно змінивши продовольчу ситуацію в усьому світі. Водночас техногенний процес значно загострив і продовжує загострювати проблеми взаємовідносин людини з навколишнім середовищем у сфері сільськогосподарського виробництва, які мають як короткочасний, так і довготривалий характер.

Погіршення екологічних складових агроекосистем в кінцевому результаті позначається на економічних показниках агропромислового комплексу, тому без урахування екологічного чинника неможливо регулювати економічну ефективність в аграрному секторі.

Сучасне сільськогосподарське виробництво орієнтоване на отримання максимальних обсягів товарної продукції в агроекосистемах, продуктивність яких значною мірою залежить як від освоєння природно-ресурсного потенціалу, так і від рівня технічного озброєння: застосування добрив і засобів захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб, проведення меліоративних робіт, запровадження нових сортів тощо. Проте численні факти негативних наслідків, зумовлених суто технологічним підходом до інтенсифікації сільськогоспо-

дарського виробництва, стимулювали інтерес до так званого «біологічного землеробства» (близькі до нього або тотожні поняття «органічне», «альтернативне», «природне», «неортодоксальне» тощо). Поряд із традиційними підходами до ведення сільськогосподарського виробництва в багатьох країнах розвивається біологічне (альтернативне) землеробство, що ґрунтується на суворому дотриманні наукових рекомендацій щодо освоєння природно-ресурсного потенціалу сільськогосподарських угідь і помірнішому використанні чинників інтенсифікації з метою зменшення техногенного навантаження на агроекосистеми, а також збереження функціональних компонентів динамічної рівноваги, з яких вони складаються.

На думку закордонних учених, *альтернативне (біологічне) землеробство* — це концепція, а не система, новий підхід до землеробства, група прийомів, етика ставлення до землі. В основу її покладено повну або часткову відмову від синтетичних добрив, пестицидів, регуляторів росту і кормових добавок. Комплекс екологічних і агротехнічних заходів базується на суворому дотриманні науково обґрунтованої структури сільськогосподарських угідь, сівозмін, насичених бобовими культурами, збереженні рослинних решток, широкому застосуванні гною, компостів і сидератів, проведенні механічного обробітку ґрунту (поліпшений зяб, боронування).

Німецький учений Г. Кант запропонував термін *біологічне землеробство*, виходячи з повністю або переважно біологічного характеру трьох чинників, які мають вирішальний вплив на величину та якість урожаю.

1. Переведення азоту повітря в рослинний білок здійснюється за участю бобових культур, специфічних бактерій ґрунту або ціанофітів, а не шляхом хемосинтезу азотних добрив.

2. Розпушення й оструктурення ґрунту здійснюється коренями рослин, дрібними ґрунтовими тваринами і мікроорганізмами, а не за допомогою знарядь і механізмів за великих затрат енергії.

3. Боротьба з бур'янами, хворобами, шкідниками ведеться в основному біологічним шляхом — правильним чергуванням культур у сівозміні, вибором видів і сортів відповідно до конкретних умов, активуванням природних ворогів шкідників, а не за рахунок застосування хімічних засобів захисту рослин (біоцидів).

Цілі біологічного землеробства та способи їх досягнення ілюструють схеми, наведені на рис. 15.1, 15.2.

Біологічне землеробство, як і традиційне, вимагає визнання необхідності:

- внесення мінеральних добрив, без чого можливе зниження величини та якості врожаїв;
- застосування пестицидів для запобігання епіфітотіям або масовому розмноженню комах.

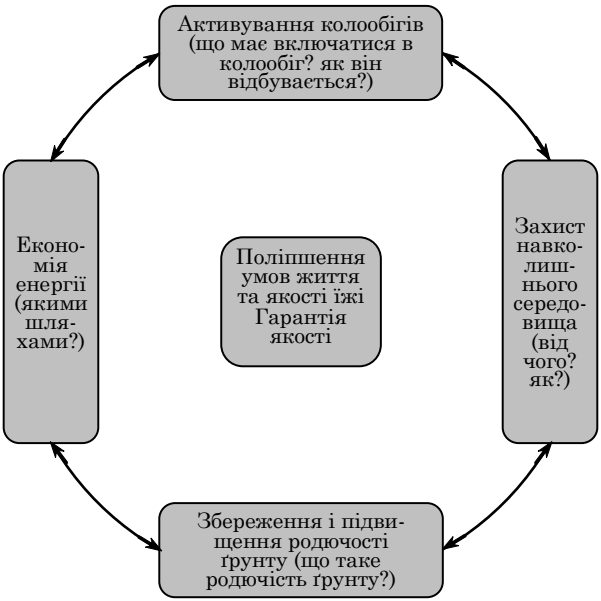


Рис. 15.1. Цілі біологічного землеробства (за Г. Кантом)

Головні особливості біологічного (альтернативного) землеробства схарактеризовано нижче.

1. Підживлювати слід не рослини, а корисні мікроорганізми, які забезпечують переробку рослинних решток і матеріалів на поживні речовини і гумус. Основою має бути гасло: «ґрунт живить рослину — рослина живить ґрунт».

Головну роль у забезпеченні ґрунтової мікрофлори енергетичним матеріалом і в постачанні рослинам поживних речовин виконують органічні добрива. Як дуже цінний вид добрив розглядають гній. Використання компостів передбачено усіма різновидами системи біологічного землеробства, деякі з них допускають застосування гною тільки в компостованому вигляді.

Найсприятливішою для компостування вважають сировину, яка містить не менш як 50 % органічної речовини (у перерахунку на суху масу), подрібнена на часточки 10 – 30 мм, вологістю 55 – 80 %, з pH 5,5 – 9,0 і співвідношенням C : N у межах 20 – 35. У компост рекомендовано вносити різні добавки — додаткові (сирі фосфати, базальтовий пил, рогове борошно тощо) і стимулювальні (культури бактерій і грибів).

Застосовують кілька способів компостування: у купах, штабелях, валках або поверхневий. Велика роль відведена дощовим черв'якам.

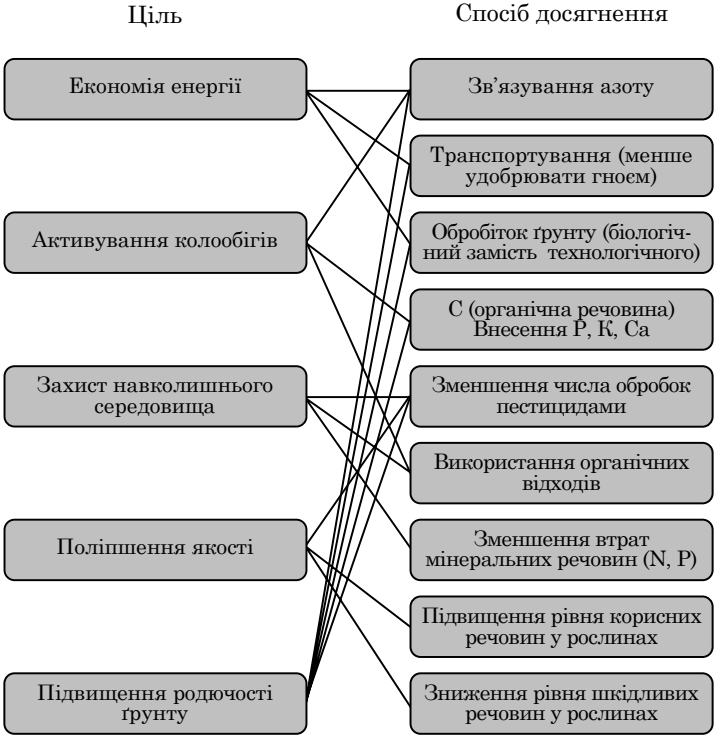


Рис.15.2. Способи досягнення цілей біологічного землеробства (за Г. Кантом)

Обов'язковим або бажаним є використання сидератів, хоча через економічні чи кліматичні умови це не завжди можливо.

Допускається використання як додаткового джерела мінерального живлення базальтового, доломітового, вапнякового і кісткового борошна, томасшлаку, калімагнезії, інших матеріалів. Однак забезпечення рослин елементами живлення без внесення мінеральних добрив багато спеціалістів вважають проблематичним.

2. Сівозміна є визначальною і відіграє провідну роль, тоді як у традиційному землеробстві — допоміжну.

Недоцільним вважають вирощування у сівозміні культур, які особливо вимогливі до забезпечення елементами живлення. Велику увагу приділяють бобовим культурам.

3. Обробіток ґрунту рекомендується проводити переважно без перевертання скиби і на невелику глибину.

Заробляння рослинних решток і органічних добрив у верхній шар сприяє утворенню ґрунту, багатого на мікроорганізми і дощові черв'яки.

Неглибока оранка (до 15 – 20 см) допускається лише тоді, коли цього не можна уникнути. Одностайної думки щодо цього немає. Вчені висловлюють побоювання, що постійний мілкий, безполицевий обробіток може зумовити диференціацію ґрунту, збіднення його нижньої частини, ущільнення, погіршення фітосанітарного стану.

4. Основною умовою успішної боротьби з бур'янами є дотримання правильної сівозміни і системи обробітку ґрунту в ній.

Вживають такі превентивні заходи: затримання сівби для знищення сходів бур'янів боронуванням; очищення насіння; збільшення норми висіву; вирощування сидеральних культур, які пригнічують бур'яни.

Біологічний метод боротьби застосовують мало. Перспективним вважають використання комах, збудників хвороб, нематод.

У майбутньому очікується виведення сортів, здатних конкурувати з бур'янами.

5. У боротьбі з шкідниками і хворобами перевага надається превентивним заходам: сівозміні, сорту, обробітку ґрунту.

Важливу роль відіграє увесь комплекс умов для росту і розвитку рослин, що підвищує стійкість посівів до шкідників і хвороб, зокрема застосування змішаних посівів.

З інсектицидів рекомендовано мікробні препарати, рослинні інсектициди, ефірні олії, мило тощо. Як фунгіциди застосовують сірку, бордоську рідину, вапно. Доцільно використовувати так звані захисні рослини, які відлякують шкідників.

6. При веденні біологічного землеробства перевагу надають культурам, більш конкурентоздатним щодо бур'янів, менш чутливим до хвороб і шкідників і менш вимогливим до забезпечення поживними речовинами. Побутує думка, що для умов біологічного землеробства необхідні особливі сорти.

15.2. Основні різновиди (системи) біологічного землеробства

Поняття «біологічне землеробство» включає кілька систем, між якими не завжди можна провести чітку межу: органічне, органобіологічне, біодинамічне, система ANOG, система LISA.

Органічне землеробство найбільш поширене у США. При його веденні виключається або істотно зменшується застосування мінеральних добрив і пестицидів. Прийоми органічного землеробства забезпечують раціональне використання природних ресурсів, мінімальне

зниження (а в окремих випадках і підвищення) врожайності кукурудзи та сої за несприятливих природно-кліматичних умов. Обов'язковим правилом є дотримання сівозмін із чергуванням у них бобових культур з культурами, які характеризуються високою потребою в азоті.

Ґрунт обробляють переважно без перевертання скиби (дискування, чизельні і плоскорізні обробітки, щілювання). Боротьбу з бур'янами ведуть як за допомогою культур, розміщених у сівозмінах, так і проміжних культур, ущільнених посівів, покривних культур. Від шкідників рослини захищають ентомофаги: сонечка, трихограма, хижі кліщі (фітосейулюс), а також біопрепарати. Проти колорадського жука застосовують грибний препарат боверін. У боротьбі з комахами широко використовують інсектициди рослинного походження і слабкотоксичні препарати. Особливу увагу приділяють внесенню різних компостів. Виготовлення компостів має велике гігієнічне значення, оскільки під час компостування інактивується багато збудників хвороб. За високої температури в компостному бурті гинуть бактерії, які спричинюють пошкодження культурних рослин, а насіння багатьох бур'янів втрачає схожість. У готовий компост іноді додають калійні і фосфорні добрива. В ґрунт також вносять місцеві добрива (вапняки, дефекат тощо). Пестициди практично не застосовують (до 1 – 2 %).

Органобіологічне землеробство поширене у Франції та Швейцарії. Основна його ідея полягає в тому, що мінеральні речовини з ґрунту поглинаються у формі не тільки іонів, а й макромолекул (мікросом) і слугують поживними речовинами для ґрунтових мікроорганізмів, які переробляють важкозасвоювані сполуки на легкодоступні для рослин форми. Тому головне в органобіологічному землеробстві — підвищення родючості ґрунту за рахунок керування живленням рослин, активування ґрунтової мікрофлори, для чого компости вносять поверхнево, а під час обробітку верхніх шарів намагаються зберегти структуру ґрунту. Захист рослин від шкідників і хвороб здійснюється подібно до того, як і в органічному землеробстві. Властивості ґрунту поліпшують насамперед вирощуванням трав'яних бобово-злакових сумішей у сівозміні. Зелена маса трав'яної суміші є, крім того, добрим кормом. Якщо в господарстві немає тварин, неодноразово скошувану зелену масу вивозять і компостують. Безпосереднє внесення зеленої маси в ґрунт вважається нераціональним. Як і за органічної системи, не виключають можливість застосування місцевих добрив (вапняки, бентоніти, фосфати, кісткове борошно), які містять в своєму складі мінеральні елементи у важкорозчинній формі.

Біодинамічне землеробство є одним із найбільш розвинених і давніх у Європі (Німеччина, Швеція, Данія) напрямів альтернативного землеробства. З початку свого становлення воно об'єднувало

біологічні, екологічні, технічні і соціальні аспекти сільського господарства. З 1928 р. прихильники біодинамічного землеробства організували продаж сертифікованих продуктів харчування (продукція відповідних фірм має назву «Деметр»). Проблему землеробства вони розглядають комплексно, тобто сільське господарство — людина — навколишнє середовище — космос, а також їх взаємовплив.

Теоретичні основи біодинамічної системи зводяться до двох положень.

1. За допомогою біодинамічних методів треба поєднати землеробство з цілісним ритмом Землі. Обробіток ґрунту, сівбу, догляд за посівами слід здійснювати у сприятливі періоди, настання яких зумовлюється розміщення Місяця в тому чи іншому зодіакальному сузір'ї. Наприклад, коли Місяць знаходиться в сузір'ї Риб, то цей строк сприятливий для сівби і садіння розсади овочів, якщо в сузір'ї Бика, — то це кращий строк для сівби коренеплодів. Взаємне розміщення небесних тіл рекомендують також враховувати при організації боротьби з бур'янами, приготуванні компостів. Космічний вплив на рослини виявляють й інші небесні тіла.

2. Спеціальні біодинамічні препарати мають надавати рослинам необхідну силу й активувати певні процеси у ґрунті. «Гумусні» препарати готують із рогів тварин і гною, «силіцієві» — з розмеленого кварцу. Цим препаратам, які застосовують у дуже розбавленому вигляді, приписують особливі властивості. Крім того, є так звані «компостні» препарати, що регулюють живлення і розвиток рослин. Їх готують із різних рослин — деревію, кропиви, ромашки лікарської, дубової кори, валеріани тощо, а потім змішують з гноєм. Витяжки, відвари і продукти бродіння з рослин використовують як добрива, стимулятори росту та для захисту рослин від бур'янів і хвороб. Найбільш поширені препарати з кропиви і польового хвоща.

Мінеральні добрива і пестициди не застосовують зовсім. Ферми, де ведеться біодинамічне землеробство, намагаються забезпечити себе добривами і кормами. Як добрива тут використовують різні компости і спеціальні мінеральні добавки (силіцій, рогове борошно, кісткове борошно, вапняки, фосфати тощо). Елементи біодинаміки наводяться в астрологічних календарях.

Система ANOG порівняно з іншими є близькою до традиційного сільського господарства. Вона дістала умовну назву «ближче до природи» і в багатьох підходах в основному збігається з органобіологічним землеробством. На підставі наукового аналізу стану ґрунту для кожного господарства розробляють індивідуальні плани внесення органічних добрив. Допускається помірне застосування усіх синтетичних препаратів (крім гербіцидів), але за ретельного контролю вмісту залишкових кількостей хімікатів у продукції.

Система LISA є новою системою землеробства у США. Найчастіше її називають «*sustainable agriculture»,* що в перекладі означає

«підтримувальне сільське господарство». Паралельно поширився ще один термін, який визначає нову тенденцію у веденні землеробства, — *«низьковитратне (low-input) землеробство».* У низьковитратному землеробстві робиться ставка на мобілізацію внутрішніх, відновлюваних ресурсів, наприклад на максимальне використання азоту нехімічного походження, розвиток водозберігаючих технологій, перехід на нехімічні засоби боротьби з бур'янами і шкідниками, регулювання складу біоценозів.

Офіційна назва, яка відбиває новий напрям у розробці систем землеробства, — «low-input/sustainable agriculture», або скорочено *LISA*. LISA — це програма досліджень щодо розробки багатопрофільної концепції вирощування сільськогосподарських культур, яка б дала виробництву, з одного боку, можливість невизначено довго підтримувати необхідний рівень, а з іншого — зменшила його залежність від зовнішніх ресурсів і підвищила економічну надійність фермерського господарства.

Основні стратегічні завдання її такі:

- збільшення ефективності витрат у межах спеціалізованих (тобто нині діючих) систем господарства;
- розробка ефективніших багатопрофільних фермерських систем;
- обґрунтування прибуткового ринку для продукції, яка вироблятиметься з невеликими вкладеннями ресурсів.

У практичному плані нова система ставить за мету:

- споживання мінеральних добрив у невеликих кількостях;
- скорочення використання пестицидів;
- зменшення інтенсивності механічного обробітку ґрунту;
- інтегрований підхід при веденні землеробства, що базується на комплексному взаємозв'язку чинників (добрива — бур'яни, добрива — хвороби рослин, гербіциди — шкідники і хвороби, фунгіциди — мікрофлора ґрунту, пестициди — дощові черв'яки тощо).

Основою технології вирощування сільськогосподарських культур нова система вважає сівозміну.

15.3. Ефективність і перспективи біологічного землеробства

Продукція традиційного інтенсивного землеробства переважає на ринку, і деяку конкуренцію їй починає складати лише «екологічно чиста» продукція. Це пояснюється жорсткими вимогами «органічного» землеробства, яке не допускає застосування хімічних засобів, що тягне за собою значне зниження врожаїв, підвищення затрат праці, необхідність застосування плодозміни, невпевненість у можливості надійного захисту урожаю від бур'янів, шкідників і хвороб, невпевненість виробників у стабільності вищих ринкових цін на чисту продукцію.

Досвід закордонних країн переконливо засвідчує, що при переході на біологічне землеробство не вдається досягати високих урожаїв. У виконаних за дорученням FAO дослідженнях щодо можливих наслідків переходу на альтернативне землеробство зроблено висновок, що урожаї зернових культур скоротяться на 10 – 20 %, картоплі та цукрових буряків — на 35 %.

Згідно з узагальненими даними по ФРН, зниження урожаїв становитиме, %: пшениці — 20 – 30, жита — 30, вівса — 20, ячменю — 30, картоплі — 55. За результатами досліджень, проведених в Австралії, Німеччині та Швейцарії, урожайність зернових культур на малопродуктивних ґрунтах в «органічному» землеробстві може знизитись на 40 %. У США урожайність пшениці зменшиться на 40 – 44 %, зернофуражних культур — на 41 – 48, сої — на 30 – 49 %.

У табл. 15.1 наведено узагальнені дані щодо урожайності сільськогосподарських культур в умовах біологічного (альтернативного) землеробства.

Таблиця 15.1. **Урожайність сільськогосподарських культур, вирощених в умовах альтернативного землеробства**
(за узагальненими даними Ф.Б. Прижукова)

Культура, регіон	Кількість опрацьованих джерел	Урожайність за біологічного (альтернативного) землеробства, % урожайності за інтенсивного	
		Верхня і нижня межа	Середній показник
Озима пшениця, Європа	22	50 – 95	56 – 76
Озима пшениця, США	3	57 – 95	—
Озиме жито, Європа	11	61 – 93	66 – 75
Озимий ячмінь, Європа	8	46 – 93	46 – 80
Ярий ячмінь, Європа	2	43 – 76	—
Овес, Європа	10	40 – 93	44 – 85
Кукурудза, США	8	54 – 99	75 – 93
Кукурудза, Італія	1	—	41
Соя, США	5	33 – 113	90 – 95
Картопля, Європа	16	32 – 99	45 – 68
Цукрові буряки, Європа	2	49 – 72	—
Злакові і багаторічні трави, Європа	1	—	58

За реакцією на альтернативні методи вирощування сільськогосподарські культури умовно можна поділити на групи.

1. Дуже чутливі, урожайність істотно знижується — пшениця, ячмінь, картопля, цукрові буряки, плодові культури, злакові багаторічні трави, білоголова капуста, зеленні овочі.

2. Помірно чутливі, урожайність знижується менше — овес і, умовно, кукурудза.

3. Майже не чутливі, урожайність практично не знижується — соя, кормові боби, багаторічні бобові трави.

Відмінність в урожайності на багатих і родючих ґрунтах менша. Вважають, що зниження урожайності з переходом на біологічне землеробство пов'язане з тим, що за менш сприятливих ґрунтових і погодних умов вилучення будь-якого чинника інтенсифікації позначається на урожаї істотніше, ніж за оптимальних умов. Крім того, сучасні сорти польових культур високовимогливі до удобрення (на бідних ґрунтах рослини страждають від нестачі азоту і фосфору) і до використання пестицидів.

Водночас у доповіді міністерства сільського господарства США в 1980 р. зазначалось, що після переходу від інтенсивного сільського господарства до органічного урожайність, як правило, знижується лише в перші 4 – 5 років, після чого стабілізується і підвищується, наближаючись за своїм рівнем до урожайності на традиційних фермах.

Стосовно якості продукції розглядаються два аспекти: поживна цінність і безпека для здоров'я людини і тварин.

Переконливих свідчень щодо підвищення вмісту поживних речовин у продуктах, отриманих за альтернативних форм ведення господарства, поки що немає. Не виявлено залежності і між системою землеробства та безпекою продуктів для здоров'я людини і тварин. Пестициди — найбільш вивчена і регламентована група речовин порівняно з промисловими та комунальними викидами (радіонукліди, важкі метали тощо) і становлять лише 20 % забрудників навколишнього середовища. Провідні вчені США підкреслюють, що нині у світі немає наукових доказів того, що рештки пестицидів у продуктах харчування за відповідного контролю і належної технології їх застосування спричинюють захворювання людини.

У Нідерландах підраховано, що навіть у разі підвищення закупівельних цін на зерно на 70 % і на картоплю на 100 % біологічне землеробство залишиться економічно невигідним. За статистичними даними, при біологічному землеробстві ціна на зерно пшениці в Німеччині підвищується на 100 – 300 %.

Найгострішою в альтернативному землеробстві є проблема збереження і підтримання на високому рівні родючості ґрунтів. Закордонний досвід засвідчує, що альтернативні методи виправдовують себе лише на ґрунтах з високим рівнем родючості.

Особливо напружена ситуація на малородючих ґрунтах може скластися із забезпеченням рослин фосфором і калієм навіть за умови внесення органічних добрив. Згідно з дослідженнями, проведеними в Нідерландах, ФРН, баланс фосфору в альтернативних господарствах був негативним. Абсолютний річний дефіцит калію, за різними

дослідженнями, коливався від 30 до 100 кг/га K_2O. Водночас вважають, що становище з дефіцитом калію порівняно з фосфором не таке загрозливе, оскільки його можна зменшити за рахунок внесення базальтового борошна. Баланс азоту загалом може бути бездефіцитним за умови внесення органічних добрив та оптимальної частки бобових культур у сівозміні. Виявлено, що в біологічному землеробстві виникає різкий дефіцит кальцію і магнію. За іншими показниками (щільність ґрунту, агрегатний склад, вміст гумусу) істотних відмін у традиційних і альтернативних господарствах не спостерігається.

Альтернативне землеробство в країнах Західної Європи і США отримало офіційне визнання і підтримку. Координує всі дії IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movements), що об'єднує 360 організацій із 68 країн. Ця організація розробляє загальні принципи ведення господарства, на основі яких визначаються його напрями, прийнятні для окремих країн або районів.

У США держава здійснює значну фінансову підтримку розвитку альтернативного землеробства. Проведення в країні наукових досліджень у цій сфері належить до числа наукових пріоритетів. Об'єднання, які займаються екологічним сільським господарством, отримують дотації держави. У Німеччині в разі переходу на екологічний спосіб виробництва виплачуються субсидії 425 і 300 німецьких марок відповідно на 1 га ріллі й 1 га сільськогосподарських угідь. У Швеції субсидії виплачуються протягом трьох років і становлять від 750 до 2900 шведських крон на 1 га. У Данії субсидії надаються на чотири роки за умови ведення екологічного господарства не менш як два роки після закінчення цього терміну. У Норвегії екологічне виробництво дотується одноразово в сумі 15 тис. норвезьких крон на ферму площею 1 – 5 га і 20 тис. крон — площею понад 5 га. У Фінляндії субсидії в розмірі 1800 фінських марок виплачуються фермерам у період конверсії протягом трьох років.

Найбільшого поширення біологічне (альтернативне) землеробство набуло в США, де його ведуть 30 тис. ферм.

Попит на продукцію біологічного землеробства швидко зростає. Згідно з даними опитувань, понад 80 % американців висловлюють бажання купувати продукцію органічного сільського господарства, причому близько половини з них — за цінами, що перевищують середні ціни супермаркетів. Країнами з розвиненим альтернативним землеробством можна вважати Швейцарію, Данію, Нідерланди. Ринок продуктів альтернативного землеробства може скласти 5 – 10 %.

Країни, де спостерігається перевиробництво сільськогосподарської продукції, можуть піти на деяке зниження продуктивності агросистем за умови забезпечення фінансової підтримки фермерів. У країнах з недостатнім самозабезпеченням продуктами харчування розвиток альтернативних сільськогосподарських систем з різким зниженням продуктивності вважається неприйнятним.

В Україні за формування економічних передумов біологічне землеробство може посісти належне місце. Постало завдання відпрацювання наукових основ і технологій біологічного землеробства, а сьогодні досить чисті продукти можна отримувати й за інтегрованого землеробства та використання нових технологій за умови виконання рекомендованих наукою заходів. Цей шлях буде магістральним для України.

Р. Корвес вважає, що концепції землеробства, які пропагувалися досі і називаються «прогресивними», через 50 – 100 років заведуть його в глухий кут. Прогресивним для всього світу може бути тільки підхід, що ґрунтується на балансі екології та економіки і передбачає при цьому підтримання здатності агроекосистем до росту валових зборів сільськогосподарської продукції.

Законодавче регулювання альтернативного землеробства здійснюється в Австрії, Данії, Франції і Нідерландах. Дедалі більша увага йому приділяється в Росії.

Загалом в усіх країнах світу частка господарств з альтернативним веденням землеробства становить близько 2 %, а внесок у виробництво продукції сільського господарства ще малий.

Причина зростаючої популярності альтернативного землеробства полягає в простоті і нешкідливості для довкілля його методів, значна частина яких добре відома землеробам і перевірена багатовіковою практикою ведення сільськогосподарського виробництва. Як результат, застосування альтернативного землеробства позитивно впливає на стан довкілля і здоров'я людини. Прихильники цього напряму стверджують, що систематичне застосування альтернативних методів дасть змогу за рахунок підвищення родючості ґрунтів у майбутньому збільшити врожайність сільськогосподарських культур до її рівня в традиційному землеробстві.

Нині ніхто із закордонних дослідників не заперечує можливості поєднання альтернативного землеробства із традиційним. Однак питання перспективи його розвитку, насамперед повного переходу на альтернативне землеробство, залишається дискусійним. На думку провідних українських учених-землеробів, широкомасштабне застосування альтернативного землеробства у чистому вигляді в нашій країні з метою вирішення екологічних проблем навряд чи можливе. Вони не погоджуються з положенням концепції альтернативного землеробства, зокрема це стосується повної відмови від мінеральних добрив. Реальною, на їх думку, є розробка інтегрального землеробства, яке б включало кращі прийоми альтернативних систем і водночас допускало застосування в розумних межах мінеральних добрив, пестицидів та інших агрохімікатів. Таке землеробство відповідало б вимогам інтенсивного ведення рослинництва і завданням охорони довкілля.

Останнім часом вчені України роблять спробу обґрунтувати концепцію біологічного землеробства щодо умов нашої держави. Зокрема інститути УААН розробили науково обґрунтовані методи ведення землеробства на біоекологічних принципах, які включають такі основні положення:

- науково обґрунтована структура сільськогосподарських угідь, посівних площ та зернових культур з метою створення і реалізації найвищого біологічного потенціалу господарства у кожній зоні чи регіоні;
- великомасштабна оптимізація загального агрокліматичного й ґрунтового потенціалу інтенсифікації землеробства (зрошення, осушення, залісення), меліоративне поліпшення кислих і засолених ґрунтів;
- оптимізація умов формування інтенсивних посівів за допомогою концепції ідеального типу рослин та посівів;
- оптимізація використання біологічного потенціалу продуктивності нових сортів та гібридів;
- впровадження сівозмін з обов'язковим насиченням їх бобовими травами і сидератами, обмеження застосування мінеральних добрив, насамперед азотних;
- перехід на локальний спосіб внесення туків, що дасть змогу зменшити їх норму на 30 – 50 % порівняно з раніше рекомендованими;
- широке застосування крім підстилкового гною інших видів органічних добрив, рідкого гною, зелених добрив, соломи, іншої побічної продукції рослинництва, сапропелю, різних компостів;
- внесення в оптимальних кількостях мінеральних добрив, вапна, гіпсу для компенсації винесення поживних речовин і забезпечення сталої продуктивності рослинництва, екологічно чистого стану навколишнього середовища;
- диференційований обробіток ґрунту, який забезпечує природоохоронний характер землекористування, ослаблює ерозійні процеси, переущільнення ґрунту, веде боротьбу з бур'янами без застосування або з мінімальним застосуванням гербіцидів;
- створення багатовидових і багатосортових посівів сільськогосподарських культур (ефект агрофітоценології);
- надання переваги агротехнічним і біологічним методам боротьби з бур'янами, шкідниками і хворобами над хімічними.

У сучасних умовах біологізація землеробства, технологій і технологічних процесів є чи не єдиним заходом, здатним стримати подальше зниження родючості ґрунтів, стабілізувати виробничі системи, знизити залежність від техногенних чинників і підвищити конкурентоспроможність виробництва.

15.4. Біотехнології в землеробстві і тваринництві

У сільському господарстві розвинених країн настав новий етап «зеленої революції», пов'язаний з розвитком *біотехнології*, під якою розуміють створення і використання нових організмів, продуктів, отриманих за допомогою методів генної інженерії, культури органів і тканин in vitro та ін. Основні напрями розвитку біотехнології в землеробстві наведено нижче.

1. Підвищення вмісту білка і незамінних амінокислот у продукції сільськогосподарських рослин, що досягається створенням так званих *генетично модифікованих організмів,* насамперед *трансгенних* рослин. Вони набувають господарсько цінних ознак внаслідок перенесення генів, які їх зумовлюють, зокрема від бактерій. Пріоритетним визнано виведення азотфіксуючих сортів зернових культур.

2. Отримання бактеріальних добрив (азотфіксуючих бактерій), біопестицидів.

3. Створення сортів і гібридів культурних рослин, стійких до хвороб, шкідників. Так, у США вирощують рослини томатів, картоплі, бавовнику, що набули стійкості до комах; рослини томатів, картоплі, стійкі до патогенних вірусів. Отримано сорти рослин, стійких до гербіцидів суцільної дії, що значно полегшує боротьбу з бур'янами і здешевлює технологію вирощування, оскільки зникає потреба у застосуванні селективних гербіцидів.

4. Отримання білків людини (інсуліну, інтерферону) з трансгенних рослин. Виведено гібриди рослин картоплі, що синтезують сироватковий альбумін людини; рослини тютюну, що синтезують інсулін; рослини, з яких отримують природний пігмент шкіри людини — меланін.

5. Створення трансгенних рослин — продуцентів біологічних пластмас, здатних деградувати в природному середовищі. Пластичні біополімери, які можуть стати поновлюваними джерелами виробництва промислових пластмас, привертають велику увагу в усьому світі. Підвищений інтерес до біопластмас зумовлений їх здатністю до біологічного руйнування (біодеградації), а також тим, що для їх отримання не потрібна нафтова сировина. Потенційне використання цих матеріалів різноманітне: тара, пакети, фотоплівки, медичні імплантати та ін.

Слід зазначити, що серед учених немає одностайності щодо можливого ефекту досліджень з генної інженерії, впливу їх на здоров'я та безпеку людини, а також на функціонування екологічних систем.

Існують крайні погляди, згідно з якими біотехнологія має бути заборонена, оскільки знання про неї недостатні для гарантування повної безпеки людини.

Висловлюється й протилежна думка: застосування генної інженерії безпечне і потребує мінімального контролю. При цьому основним аргументом є те, що принципової відмінності між генною інженерією і селекцією немає. До того ж при генній інженерії виконуються відомі, заздалегідь сплановані модифікації, а швидкість процесу вища.

Згідно з іншими поглядами, при проведенні досліджень із генної інженерії необхідний ретельний контроль. Це пов'язано з небезпекою, по-перше, непередбаченого перенесення введених генів в інші організми, по-друге, створення фундаментально нових біотипів, які не існують у природі, по-третє, зменшення як місцевої, так і глобальної різноманітності сільськогосподарських культур. Як наслідок, зростає потенційна небезпека порушення екологічної рівноваги. Тому дослідження слід здійснювати з великими пересторогами, кожен організм має проходити через кілька послідовних стадій випробувань і на кожній стадії отримувати спеціальний дозвіл, тобто експеримент необхідно здійснювати за принципом постійного розширення. І все ж багато вчених вважає, що результати досліджень не можуть бути катастрофічними, а самі роботи треба розглядати як новий етап впливу людської діяльності на навколишнє середовище, але не більшою мірою, ніж це відбувалося раніше.

Свідченням високих темпів розвитку біотехнології є зокрема те, що у 1997 р. у США і Канаді трансгенні кукурудзу, сою, ріпак, цукрові буряки вирощували на мільйонах гектарів. Трансгенна соя тільки в США займала 12 %, кукурудза — 6, бавовник — 13 % усіх посівних площ цих культур.

За висновками експертів ФАО, у 2030 р. весь світовий приріст виробництва продукції рослинництва буде досягнуто за рахунок нових сортів рослин.

Чільне місце у біотехнологічних дослідженнях посіли корпорації «Дюпон», «Новартіс», «Монсанто», «Рон-Пуленк», «Карсіл».

Закордонний досвід засвідчує, що поширення біотехнологій залежить від багатьох причин: економічних, політичних, соціальних, екологічних та ін. Велику роль у впровадженні біотехнології в практику відіграє громадська думка.

Біотехнологія — важливий, але не єдиний елемент науково-технічного прогресу в аграрному секторі, тому необхідний комплексний підхід до цього питання з урахуванням альтернативних технологій.

Запитання для самоконтролю

1. Які можливості дає впровадження біологічного (альтернативного) землеробства в Україні? **2.** Назвіть головні принципи біологічного землеробства. **3.** У чому полягає суть основних систем біологічного землеробства? **4.** Наведіть приклади застосування біотехнології у землеробстві і тваринництві.





Розділ 16

ОСНОВИ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

16.1. Моніторингова система спостережень навколишнього середовища в Україні

Термін «моніторинг» (від лат. *monitor* — нагадувальний) було запропоновано перед проведенням конференції ООН з навколишнього середовища, яка відбулася в Стокгольмі 16 червня 1972 р. У рекомендаціях цієї конференції вперше було викладено основні елементи моніторингової системи спостережень за змінами стану біосфери під впливом людської діяльності. У другій половині XX ст. стало зрозумілим, що безконтрольна експлуатація природи може призвести до дуже серйозних негативних наслідків у біосфері, а саме, до забруднення Світового океану, руйнування озонового шару атмосфери, посилення парникового ефекту в атмосфері і загрози підвищення температури земної поверхні, деградації лісів і ландшафтів, зниження родючості ґрунтів, зменшення біорізноманіття.

Результатом інтенсивної господарської діяльності людства є порушення механізмів самовідновлення і саморегуляції навколишнього середовища, що призводить до його деградації. Ці порушення носять глобальний характер і це, в свою чергу, може спричинити загибель біосфери. Тому єдиним і безальтернативним шляхом для

людства, якщо воно не бажає самознищення, є розвиток моніторингу навколишнього середовища і за його допомогою — оптимізація антропогенного впливу на нього.

Термін «моніторинг» доповнює термін «контроль», але на відміну від останнього передбачає елементи управління не біосферою, а процесами антропогенного впливу на навколишнє середовище.

Обговорення системи моніторингу активувалось перед першою Міжнародною нарадою з моніторингу у Найробі (Кенія, лютий 1974 р.) Радою керуючих Програмами ООН з проблем навколишнього середовища (ЮНЕП).

На цій нараді були викладені цілі й основні положення глобальної системи моніторингу довкілля, в яких зверталася увага, з одного боку, на попередження людства про зміни стану природного середовища, пов'язані з забрудненням, а з іншого — про екологічні проблеми, загрозу стихійних лих та загрозу здоров'ю людей. Тобто головне завдання глобальної системи моніторингу полягало в попередженні можливих природних чи антропогенних змін стану навколишнього середовища, які можуть завдати шкоди здоров'ю людини. Учасники наради висловилась за те, щоб міжнародне співробітництво щодо організації глобального моніторингу будувалось на основі існуючих національних і міжнародних систем, які б максимально використовувались для координування і здійснення програм із моніторингу спеціалізованими агентствами ООН.

Наступні детальні обговорення основних завдань моніторингової системи відбувались на міжнародному симпозіумі з комплексного глобального моніторингу забруднення навколишнього природного середовища в м. Рига в грудні 1978 р., Конференції ООН з навколишнього середовища та розвитку (Ріо-де-Жанейро, Бразилія, 1992 р.), 3-й Конференції Міністрів «Навколишнє середовище та здоров'я» (Лондон, 1999 р.), 5-й Конференції Міністрів «Навколишнє середовище та здоров'я» (Київ, 2002 р.).

Ухвалені рішення стратегічної екологічної оцінки на міжнародному й національному рівнях направлені на право кожної людини нинішнього й майбутніх поколінь на проживання в безпечному навколишньому середовищі.

На підставі сучасних уявлень запропоновано також визначення поняття «моніторинг», викладене у «Положенні про державний моніторинг навколишнього природного середовища»: *моніторинг* — це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан навколишнього природного середовища, прогнозування його змін та розробка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття управлінських рішень.

Залежно від призначення здійснюється загальний (стандартний), оперативний (кризовий) та фоновий (науковий) моніторинг навколишнього природного середовища.

Загальний (стандартний) моніторинг — це оптимальні за кількістю параметрів спостереження на пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінки й прогнозування стану навколишнього середовища регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях.

Оперативний (кризовий) моніторинг — це спостереження спеціальних показників на цільовій мережі пунктів у реальному масштабі часу за окремими об'єктами, джерелами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, які визначено як зони надзвичайної екологічної ситуації, з метою забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення безпечних умов для населення.

Фоновий (науковий) моніторинг — це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими навколишнього природного середовища, а також за характером, складом, колообігом та міграцією забруднювальних речовин, за реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери загалом. Фоновий моніторинг здійснюється у природних і біосферних заповідниках, на інших територіях, що охороняються, на базових станціях.

Система державного моніторингу створюється на трьох рівнях:

- локальному — на території окремих об'єктів;
- регіональному — у межах адміністративно-регіональних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів;
- національному — на території країни загалом.

Моніторинг як система отримання й обробки інформації, необхідної для оцінки якості навколишнього середовища й розробки рекомендацій щодо оптимізації процесів антропогенного впливу, є чотирирівневою структурою, де кожен рівень поряд з виконанням певних завдань впливає на результати вирішень усіх ланцюгів структури (рис. 16.1).

Перший рівень — отримання інформації про якість забрудненості навколишнього середовища на об'єктах досліджень.

Другий рівень — порівняння з даними стосовно навколишнього середовища, отриманими в «найчистіших» районах.

Третій рівень — оцінка прояву тенденцій у змінах забрудненості, прогнозування наслідків на основі даних, отриманих на другому рівні.

Четвертий рівень — рекомендації щодо змін інтенсивності й характеру антропогенних впливів.

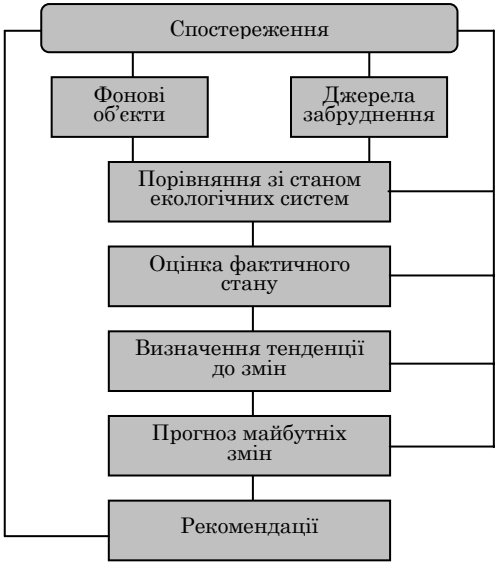


Рис. 16.1. Структурна організація моніторингу навколишнього середовища

Отже, система моніторингу сприяє виявленню критичних ситуацій у навколишньому середовищі, дає змогу виділити критичні чинники впливу та найчутливіші до антропогенного тиску елементи біосфери, розробити рекомендації для прийняття управлінських рішень.

16.2. Агроекологічний моніторинг у системі землеробства

У загальній системі моніторингу особливе місце посідає агроекологічний моніторинг як складова частина екологічного (рис. 16.2).

Агроекологічний моніторинг — загальнодержавна система спостережень за станом та рівнем забруднення агроекосистеми в процесі сільськогосподарської діяльності, оцінка та прогноз еколого-економічних наслідків її деградації.

Україна має величезні резерви родючих ґрунтів і має бути одним зі світових лідерів з виробництва високоякісних продуктів харчування, сировини, кормів. Однак у зв'язку зі зміною соціально-економічної ситуації нині, на жаль, спостерігається дестабілізація ґрунтової родючості. З 1960 до 1990 р. в Україні здійснювались широкомасштабні заходи щодо використання ґрунтів та підвищення їх родючості. Тепер через різке зростання вартості всіх енергоносіїв обсяги робіт щодо подальшо-

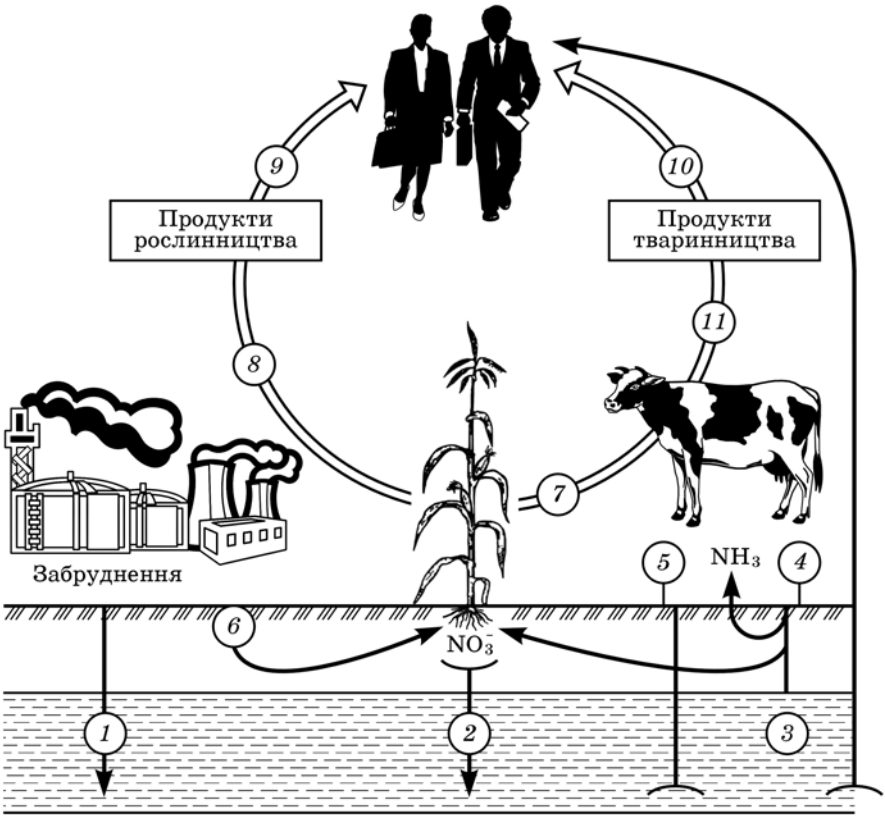


Рис. 16.2. Агроекологічний моніторинг:
1 – 3 — стічні ґрунтові води; *4* — виділення живих організмів; *5* — питні води; *6* — токсиканти; *7* — корми; *8 – 11* — продукти харчування

го підвищення родючості ґрунтів різко зменшилися. Внаслідок цього площа ерозійно небезпечних ґрунтів досягла 17 млн га, близько 20 % орних земель забруднено важкими металами, щорічно значні площі ґрунтів забруднюються пестицидами, іншими токсичними речовинами, понад 4,6 млн га сільськогосподарських угідь зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС, що істотно погіршило екологічний стан навколишнього середовища.

Екологічний стан ґрунтового покриву агроландшафтів слід визначати за співвідношенням основних угідь — ріллі, лісів і лісових насаджень, кормових угідь, водовкривних територій (оптимальним є співвідношення відповідно 30 : 30 : 20 : 20). Комплексна оцінка

структурно-функціонального стану сучасних агроландшафтів засвідчує, що екологічний стан території України дуже погіршений: Поліської зони — середньопогіршений, Лісостепу — сильно погіршений з наближенням до катастрофічного, а Степу — катастрофічний. У зв'язку з цим створено єдину систему агроекологічного моніторингу, яка дає змогу об'єднати зусилля різних організацій для всебічних спостережень і наступної оцінки екологічного стану земель, інших базових елементів агроекосистем. На цій основі можлива розробка достатньо об'єктивної інформації для вирішення коротко- і довгострокових агроекологічних завдань (див. рис. 16.2).

Метою агроекологічного моніторингу є: збереження і відтворення природно-ресурсної бази в аграрному секторі; ефективна екологізація всіх галузей сільськогосподарського виробництва; забезпечення сталого виробництва якісної біологічної продукції.

У завдання агроекологічного моніторингу входять спостереження за станом агроекосистем, отримання систематичної об'єктивної інформації щодо їх функціонування, оцінка отриманої інформації та прогноз можливих змін стану агроценозів на перспективу, розробка рішень і рекомендацій, спрямованих на ефективне керування агроекосистемами. Агроекологічний моніторинг ґрунтується на принципах комплексності та систематичності спостережень за компонентами агроекосистеми: атмосфера — вода — ґрунт — рослина — тварина — людина, вірогідності досліджень, що проводяться різними фахівцями у різних природно-кліматичних зонах за узгодженими програмами під єдиним науково-методичним керівництвом.

Агроекологічний моніторинг здійснюється на науковому й виробничому підґрунті. *Наукове забезпечення* — це ділянки довгострокових дослідів, постійних місць спостережень, є фундаментальним із широкого спектра питань. *Виробниче забезпечення* включає моніторинг усіх сільськогосподарських угідь за невеликою кількістю показників через 5 років і дає змогу отримати систему строкових характеристик.

Об'єкти агроекологічного моніторингу

Основними об'єктами агроекосистеми є ґрунт, рослинність, водні джерела, приземний шар атмосфери. Здійснення моніторингу по кожному з них має певні особливості (рис. 16.3). Адже антропогенні чинники, що впливають на них, а в кінцевому підсумку й на здоров'я людини, дуже різноманітні. Це забруднення різними хімічними речовинами, викидами відходів виробництва, нагрівання біосфери, фізичні й біологічні впливи тощо.

Завданням *моніторингу ґрунтового покриву* є забезпечення систематичного нагляду за використанням земель згідно з їхніми природним і виробничим потенціалами, ерозійними процесами, заболо-

ченням, засоленням та іншими негативними процесами. До його завдань входить також періодичний контроль динаміки основних ґрунтотворних процесів (фізичних, хімічних, біологічних) у природних умовах і в разі антропогенного навантаження. Об'єктами моніторингу ґрунтів є основні їх типи, підтипи, роди, види й різновиди, які максимально відбивають різноманітність ґрунтового покриву, усі види й рівні антропогенного навантаження.

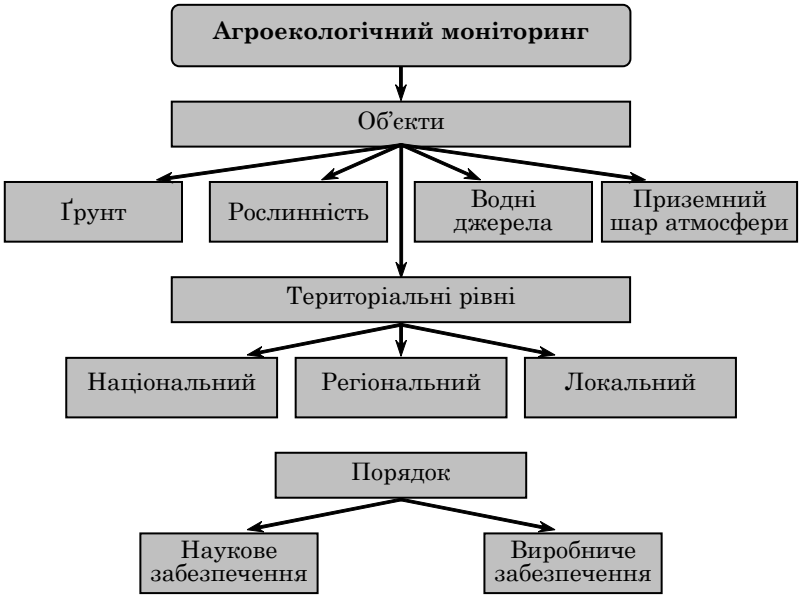


Рис. 16.3. Структурна схема агроекологічного моніторингу

Поряд з параметрами родючості і стану ґрунтового покриву враховують також факти ґрунтотворення, зміну стану ґрунтового покриву. Це пояснюють тим, що антропогенні навантаження впливають не тільки на біоту, а й на рівень ґрунтових вод, водно-сольовий режим ґрунту і баланс поживних речовин, геохімічну міграцію елементів, водопроникність порід, рельєф. Ці чинники мають ґрунтуватися на надійній теоретичній основі для об'єктивної оцінки формування і розвитку ґрунтотворних процесів.

Від традиційних ґрунтових та агрохімічних досліджень, які здійснювались раніше, моніторинг різниться комплексністю і безперервністю, єдністю мети і завдань, узгодженістю програмного і методичного забезпечення. Отримана на базі моніторингу інформація про зміни властивостей ґрунту, ґрунтових режимів і процесів під

впливом природних чинників ґрунтотворення та антропогенних навантажень є основою для моделювання ґрунтової родючості.

Постійними пунктами спостереження є природні об'єкти (заповідники), еталонні об'єкти високого рівня сільськогосподарського використання ґрунтів (держсортодільниці, стаціонарні досліди), господарства.

Об'єктами моніторингу є також інформація про клімат, ґрунтотворні породи, поверхневі води, кількісні та якісні показники рослинницької продукції. Такий підхід здатний об'єднати ґрунти з іншими елементами середовища й за аналогічної розробки моніторингу фауни, флори, людини та інших компонентів біосфери отримати уявлення про них.

Об'єкти моніторингу закладаються в усіх землеробських зонах. Вони мають відбивати типові природні й сільськогосподарські ландшафти і бути наближеними до місць найінтенсивнішого антропогенного впливу. Паралельно добираються фонові території, представлені природними ландшафтами, ґрунти яких за останні 40 – 50 років не піддавались або піддавались незначному антропогенному навантаженню. При виборі об'єктів моніторингу враховують спеціалізацію господарства, систему землеробства, способи обробітку ґрунту, систему сівозмін.

Моніторинг ґрунтового покриву — це система спостережень, кількісної оцінки та контролю за використанням ґрунтів і земель з метою керування їхніми якісними показниками. Він є складовою частиною моніторингу суміжних середовищ і біосфери загалом.

Концепція та техніко-економічне обґрунтування організації ґрунтового моніторингу в Україні визначаються (за В.В. Медведєвим):

- підтриманням ґрунтів у стані, за якого вони зберігають здатність регулювання циклів біофільних елементів як основи життєдіяльності людини й біосфери загалом;
- важливістю контролю і запобігання негативному розвитку процесів ґрунтотворення, що має місце практично на всіх сільськогосподарських угіддях під впливом безконтрольної діяльності людини;
- важливістю істотного підвищення родючості ґрунтів, збільшення віддачі від меліорації і хімізації, поліпшення якості сільськогосподарської продукції;
- неможливістю вироблення адекватної оцінки сучасного стану ґрунтового покриву за наявною інформацією та неможливістю раціонального використання з цієї причини інвестицій для його виправлення.

Нині в Україні сформована служба ґрунтового моніторингу, де спостереження здійснюються наземними (стандартизованими методами і приладами) та дистанційними засобами (дистанційне зондування).

Перелік основних польових і лабораторних аналітичних робіт, що виконуються при проведенні ґрунтового моніторингу, наведено нижче.

Контрольований процес	Показник
Зміна структури ґрунтового покриву і контроль землекористування	Зміна структури ґрунтового покриву
	Трансформування земельних угідь по ґрунтовому покриву
	Контроль оптимальності землекористування
	Контроль оптимальності технологій
	Контроль комплексної охорони ґрунтів
Оцінка темпів зміни основних процесів ґрунтотворення	Гумусний стан
	Реакції ґрунтового розчину
	Ємність вбирання
	Водний режим
	Поживний режим
	Забрудненість ґрунтових вод
	Агрофізичні властивості
	Біологічна активність
Оцінка інтенсивності виявлення процесів ерозії	Площі угідь, пошкоджених водною і вітровою ерозіями
	Кількість та інтенсивність зливових опадів
	Швидкість вітру
	Площі, вкриті рослинністю чи її рештками, %
	Зміна глибини гумусових горизонтів
	Зміна властивостей ґрунтів, що зазнають ерозії
	Іригаційна ерозія
Додаткові показники контролю якості ґрунтів меліоративного фонду	Якість зрошувальних вод
	Рівень і склад підґрунтових вод
	Засоленість ґрунтів у зоні аерації
	Оцінка темпів спрацювання осушених торфовищ
	Трансформування органічної речовини
	Вторинне озалізнення
Оцінка ефективної родючості ґрунтів	Якість рослинницької продукції

Загальна кількість контрольованих показників — близько 115, один тур повного моніторингу вкладається в 5-річний термін, для гостродинамічних показників, що характеризують кризові екологічні ситуації (ерозія, забруднення, якість продукції), передбачено спеціальні види оперативної звітності.

Конкретні методики та система нормативних показників для здійснення агроекологічного моніторингу й паспортизації земель сільськогосподарських угідь викладено у книзі В.П. Патики, О.Г. Тараріко «Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель» (2003). Крім соціального, ґрунтово-агрохімічного, агрофізичного, радіологічного, пестицидного, в ній схарактеризовано також мікробіологічний, фітоіндикаційний та аерокосмічний моніторинги.

Одним з основних об'єктів агроекосистеми є рослини. У процесі агроекологічного моніторингу фіксують не тільки кількість і якість

урожаю, а й дані щодо динамічних показників: накопичення біомаси, формування листкової поверхні, фотосинтетичний потенціал, зміну структури агрофітоценозу тощо.

Результати таких спостережень дають змогу уточнювати строки проведення агротехнічних і агрохімічних заходів, контролювати розвиток процесів формування врожаю. Знаючи оптимальні параметри окремих елементів, їх можна регулювати.

При вирощуванні зернових культур за інтенсивними технологіями для здійснення різних агротехнічних заходів, спрямованих на збільшення врожаю та якості продукції, важливо враховувати не тільки фази, а й етапи розвитку рослин.

Для характеристики фотосинтетичної діяльності сільськогосподарських рослин визначають площу листкової поверхні та біомасу рослин. За отриманими даними будують криві наростання площі листків в онтогенезі рослин.

Застосування морфофізіологічного методу контролю дає змогу впродовж онтогенезу спостерігати за формуванням врожаю, оцінювати фото- та біосинтетичну активність посівів, не тільки правильно визначити строки проведення агроекологічних заходів, а й об'єктивно оцінювати потенційні можливості рослин і ступінь реалізації цих можливостей залежно від умов вирощування.

За отриманими динамічними показниками встановлюють кореляційні залежності між чинниками зовнішнього середовища та станом розвитку рослин і формуванням урожаю. Перелік показників якості продукції рослинництва для досліджень в агроекологічному моніторингу (систему контрольованих параметрів) наведено нижче.

Показник	**Властивість**
Вміст клейковини в зерні	Технологічні
Якість клейковини зерна	Те саме
Вміст сахарози	«
Вміст шкідливого азоту	«
Вміст олії в насінні	«
Кількість лузги	«
Вихід і якість волокна	
довгого й короткого	«
чесаного	«
Об'ємний вихід хліба	Хлібопекарні
Маса 1000 зернин	Фізичні
Скловидність зерна	Те саме
Товарність бульб картоплі	«
Вміст сирого білка	
у зерні	Хімічні
у кормах	Те саме

Вміст крохмалю	
у зерні	«
у картоплі	«
у кормах	«
Вміст	
азоту	«
фосфору	«
калію	«
кальцію	«
магнію	«

З розвитком сільського господарства та промисловості дедалі більше почали забруднюватись водні джерела внаслідок змивання пестицидів із сільськогосподарських угідь, викидів промислових відходів, недостатньо очищених стічних вод , випадання кислотних дощів.

Урбанізація призвела до того, що природні водойми вже неспроможні самоочищатися, оскільки в них відбуваються різні хімічні, фізико-хімічні, біохімічні, біологічні та гідрологічні процеси, які гальмують самоочищення.

Основними джерелами забруднення природних вод в агропромисловому виробництві є речовини, що надходять з поверхні ґрунту луків, пасовищ, полів, зі стічними водами з територій тваринницьких ферм, вигульних майданчиків для тварин, гноєсховищ, силосних ям. У водах можуть міститись різні забруднювальні речовини: рештки пестицидів, органічні речовини, важкі метали, фенольні сполуки, нітрати тощо.

Загроза полягає в тому, що забруднювальні речовини потрапляють у поверхневі води, річки, озера, які є джерелами питної води. Тому якість поверхневих вод є показником інтенсивності не тільки природних процесів, пов'язаних із ґрунтотворенням і колообігом елементів у природі, а й антропогенного навантаження, особливо застосування засобів хімізації.

Для обліку вертикальної міграції води та розчинених у ній хімічних речовин використовують *лізиметричний метод*, принцип якого полягає в дослідженні ґрунтового розчину, що витісняється внаслідок просочування крізь ґрунт надлишку дощової і снігової води. За допомогою цього методу моделюють процеси міграції елементів по профілю ґрунту і збіднення кореневмісного шару на основні елементи живлення залежно від кількості опадів, типу ґрунту, його гранулометричного складу та окультуреності, форм і норми внесення добрив, виду вирощуваних культур та їх продуктивності.

На забруднення водних джерел впливають ерозійні процеси, за розвитку яких у поверхневі води потрапляє змитий ґрунт з елемен-

тами живлення, які забруднюють навколишнє середовище. Змив ґрунту з поверхні схилу досліджують за допомогою комплексних польових спостережень на спеціально обладнаних стокових майданчиках.

Чинником екологічного ризику є також атмосферні опади, які приносять речовини-забрудники з атмосфери. Наявність в атмосфері оксидів сірки й азоту спричинює небезпеку випадання кислотних дощів.

Питому масу забруднювальних речовин, що надходять з атмосфери на денну поверхню, визначають за залежністю

$$P_{\text{п}} = 365\frac{P_0}{St},$$

де P_0 — маса елемента в твердій і рідкій складовій проби, мг; $P_{\text{п}}$ — питоме навантаження (маса) мінеральної речовини, мг/м^3; S — площа поверхні, м^2; t — період сталого снігового покриву, діб.

Проби атмосферних опадів у вигляді снігу відбирають на всю потужність снігового покриву. Маса проби має бути 13 – 15 кг (не менш як 10 л води, щоб отримати вірогідні результати за незначного вмісту забруднювальних речовин).

Атмосферне повітря забруднюється в результаті перебігу природних ерозійних процесів чи внаслідок людської діяльності. Різні хімічні речовини у вигляді газів, аерозолів, часточок чи розчинені у краплях води, змінюють природний склад атмосфери й негативно впливають на живі організми, погіршують умови їх існування. Забруднення повітряного середовища внаслідок застосування мінеральних та органічних добрив незначне, особливо з переходом на використання гранульованих і рідких їх форм. Після застосування добрив в атмосферу переважно надходять сполуки, що містять азот, фосфор і сірку. Більше забруднюється атмосфера при виробництві мінеральних калійних добрив — в повітря викидаються недостатньо очищені димові гази сушильних відділень.

Приземний шар атмосфери забруднюється сполуками азоту, що утворюються в результаті перебігу процесів амоніфікації і денітрифікації в ґрунті: молекулярним азотом, аміаком, оксидами азоту. Втрати азоту можуть бути значними, особливо в разі застосування азотних добрив на карбонатних і лужних ґрунтах.

Встановлено, що 10 – 50 % азоту, який надходить у сільське господарство, втрачається в атмосферу. Найбільш загрозливими є аміак та оксид азоту(I), які руйнують озоновий шар планети, що захищає її від згубної дії ультрафіолетового випромінювання. Слід зазначити, що близько 90 % аміаку, який міститься в повітрі, надходить із сільськогосподарського виробництва і головним джерелом його є тваринництво. Крім того, аміак виділяється з ґрунтів, гнилих

рослин, під час спалювання рослинних решток. Джерелами емісії аміаку є також виділення диких тварин, комунальне господарство, побутові стічні води, продукти спалювання деревини й енергоносіїв (енергетика, транспорт), штучні азотні добрива.

За утримання тварин в атмосферу виділяється метан, який поглинає інфрачервоні промені в 10 – 100 разів сильніше, ніж вуглекислий газ. Нині його частка в тепловому ефекті становить близько 10 %, а концентрація в повітрі зростає набагато швидше, ніж інших сполук, що впливає на загальне підвищення температури.

У разі застосування азотних добрив рекомендується використовувати інгібітори нітрифікації, які тимчасово пригнічують розмноження нітрифікуючих бактерій і забезпечують збереження до 10 – 12 % азоту добрив в аміачній формі

Організація моніторингу атмосферного повітря передбачає:

- визначення рівня забрудненості атмосфери;
- оцінювання характеру шкідливого впливу забруднювальних речовин на здоров'я людини і навколишнє середовище;
- з'ясування причин високих рівнів забруднення та виявлення джерел забруднення;
- розробку заходів щодо охорони навколишнього середовища.

Залежно від поставленої мети розрізняють такі види моніторингових спостережень:

- *епізодичний* — здійснюють для попередньої оцінки стану забруднення повітря при виборі місць для влаштування постів спостережень;
- *комплексний* — регулярні спостереження з метою детального вивчення особливостей і причин високого рівня забруднення, а також розробки рекомендацій щодо захисту атмосферного повітря;
- *оперативний* — спостереження з метою виявлення причин різкого погіршення якості повітря;
- *регулярний* — постійні спостереження за параметрами атмосферного повітря залежно від цілей моніторингу.

Спостереження за рівнем забрудненості атмосферного повітря здійснюють на спеціально обладнаних постах. Завданнями служби спостереження є:

- оцінка ефективності заходів захисту повітряного середовища;
- контроль за дотриманням нормативів допустимого вмісту шкідливих речовин в атмосфері;
- виявлення джерел забруднення;
- вчасне оповіщення про різкі зміни рівня забруднення.

Пости спостереження поділяють на три категорії: стаціонарні, маршрутні і підфакельні.

Стаціонарні пости слугують для постійних і довготривалих спостережень. Це спеціальні павільйони, обладнані необхідними при-

ладами й апаратурою для відбирання проб повітря, безперервного реєстрування вмісту забруднювальних речовин в атмосфері і визначення метеорологічних параметрів.

Маршрутні і підфакельні пости належать до пересувних. *Маршрутні пости* призначені для регулярних і короткочасних спостережень у певних точках на постійних маршрутах об'їзду контрольованого району за забрудненістю повітря.

Маршрутний пост влаштовують тоді, коли неможливо (недоцільно) встановлювати стаціонарний чи необхідно детальніше вивчити стан забрудненості певного району. Маршрутні пости обладнують у заздалегідь вибраних точках місцевості з розрахунку не більш як 4 – 5 постів на одному маршруті.

Підфакельні пости розгортають для одноразових спостережень під димовими чи газовими джерелами (факелами) для оцінки складу і кількісних параметрів шкідливих речовин у викидах контрольованого джерела та прогнозування регіонів розсіювання забрудників. Їх розміщують у точках місцевості на фіксованих відстанях від досліджуваного джерела й переміщують відповідно до напрямку факела досліджуваного джерела викиду.

Еколого-токсикологічна оцінка агроекосистем

Хімізація землеробства та економічні цілі не завжди відповідають вимогам *екологічної безпеки*, яка на сучасному етапі розвитку землеробства може бути досягнута тільки в разі застосування оптимальних доз хімічних речовин з урахуванням необхідних екологічних обмежень. У системі агроекологічного моніторингу важливою базовою складовою є комплексна екотоксикологічна оцінка досліджуваних об'єктів, головною метою якої є з'ясування кількісно-якісних закономірностей механізмів безпосереднього й опосередкованого впливу отрут-токсикантів на існування різноманітного живого світу довкілля та запобігання негативному розвитку процесів у біоценозах.

Об'єктом згубного впливу на біоценози в екологічній токсикології є токсикант, який реалізує свою дію через вплив на біологічні організми у довкіллі.

Токсикант — це окремий або комплексний чинник з притаманними лише йому фізичними, хімічними, фізико-хімічними та медико-біологічними властивостями, які викликають патологічні зміни аж до розвитку незворотних уражень органів, систем, організмів, екологічних систем.

Екотоксиканти діють у широкому спектрі саморегулюючих систем, які утворюють співвідношення живої й неживої природи. Вони можуть впливати як на окремих представників конкретної популя-

ції, так і на загальну екологічну характеристику всієї популяції. Дія екотоксиканту може реалізуватися в його впливі на взаємовідносини між популяціями різних видів та в одному виді. Екотоксикант впливає на основні показники біогенезу, а саме: видову різноманітність (кількість видів), густоту популяцій (кількість особин популяції на одиницю площі регіону), біомасу (загальну кількість органічних речовин з урахуванням їх енергії на одиницю площі регіону).

Екотоксикологія вирішує дві групи завдань:

- визначення властивостей екотоксикантів, дослідження екотоксикометричних показників гострої та хронічної дії, розробка першочергових заходів запобігання несприятливому розвитку ураження біогеоценозу;
- складання прогнозу впливу екотоксиканту, розрахунок ситуаційних наслідків застосування заходів ефективної протидії ураженню біогеоценозу та запобігання аналогічним ураженням у майбутньому.

При визначенні показників для екотоксикологічної оцінки треба враховувати:

- ґрунтово-кліматичні характеристики регіонів;
- метеорологічні умови (на основі багаторічних даних);
- можливість забруднення агроекосистем промисловими викидами підприємств (об'єми, склад, токсичність викидів);
- технології обробітку ґрунту та використання засобів хімізації (добрива, засоби захисту рослин, хімічні меліоранти).

Обов'язково треба враховувати результати вихідного хімічного аналізу води, ґрунтів, рослин. Для цього використовують технологічні карти, архівні матеріали, дослідження на фонових територіях.

Згідно з класифікацією, існують чотири види забруднень навколишнього середовища:

- *інгредієнтне* (інгредієнт — це складова частина суміші або складної сполуки) — забруднення сукупністю речовин, які кількісно або якісно впливають на природні біогеоценози;
- *параметричне* — зміна якісних параметрів навколишнього середовища (рівень шуму, радіації, освітленості, температури);
- *біоценотичне* — вплив живих організмів на склад і структуру популяції;
- *стаціально-деструктивне* — зміна ландшафтів та екологічних систем у процесі природокористування (стація — місце існування популяції, деструкція — руйнування).

У середині XX ст. перевагу віддавали біоценотичному та стаціально-деструктивному впливу на біосферу. Інгредієнтне й параметричне забруднення існували також, але вони не були настільки багатогранними і масовими, як сьогодні, практично не містили штучно створених сполук, що не піддаються природному розкладанню,

тому природа з такими забрудненнями справлялася самостійно. Наприкінці XX ст. темпи інгредієнтного й параметричного забруднень зросли, а їх якісний склад змінився настільки різко, що на значних територіях природа втратила здатність до самоочищення.

Під час проведення екотоксикологічних досліджень встановлено основні показники токсичності можливого шкідливого впливу потенційного токсиканта, до яких належать:

• *гранично допустима концентрація* (ГДК) — норматив, що регламентує безпечне для людини забруднення довкілля токсикантами; є критерієм оцінки стану повітря робочої зони, атмосфери, води, ґрунту та продуктів харчування;

• *орієнтовно безпечний рівень впливу токсиканту у повітрі й воді* — визначається розрахунковим методом на 2 – 3 роки;

• *допустимі залишкові кількості токсикантів у харчових продуктах* — максимальна кількість речовин, надходження яких в організм упродовж усього життя не викликає жодних порушень у здоров'ї людини.

На сьогодні єдиної узагальненої систематики екотоксикантів не існує. За ступенем небезпечності їх поділено на чотири класи (табл. 16.1). В основу такої класифікації покладено «ефект» токсичної дії як наслідок взаємодії між хімічними, фізичними, фізико-хімічними властивостями, дозою, шляхом введення та загальним біологічним станом організму на момент контакту з токсикантом.

Таблиця 16.1. **Класифікація речовин за їх небезпечністю**

Показник токсичності	Норма для класу небезпечності			
	I. Надзвичайно небезпечн	II. Високонебезпечні	III. Помірно небезпечні	IV. Малонебезпечні
ГДК в робочій зоні, мг/м^3	< 0,1	0,1 – 1,0	1,1 – 10,0	> 10,0
Середня смертельна доза, мг/кг				
при введені в шлунок	<15	15 – 150	151 – 5000	> 5000
нашкірна	<100	100 – 500	5001 – 25 000	> 2500
Середня смертельна концентрація, мг/м^3	< 500	501 – 5000	5001 – 50 000	> 50 000

У мінеральній частині ґрунтів містяться близько 50 хімічних елементів, які знаходяться в окисненому стані або у вигляді солей. Ґрунти здатні накопичувати шкідливі речовини у великих кількостях. Вони уражують живі організми, а, потрапляючи з їжею в організм тварини чи людини, спричинюють захворювання різних органів.

В останні роки здатність ґрунтів до самоочищення знизилась через зменшення в них кількості редуцентів унаслідок застосування пести-

цидів, мінеральних добрив, беззмінних посівів, повного видалення з полів усіх рослинних решток тощо. Основні зусилля сьогодні мають бути спрямовані на зниження рівня ґрунтового забруднення.

У ґрунті вміст забруднювальних речовин нормують за такими показниками:

- вміст пестицидів у кореневмісному шарі ґрунту на сільськогосподарських угіддях;
- забруднення ґрунту в населених пунктах.

Для кореневмісного шару ґрунту встановлено такі показники допустимої концентрації:

1) ГДК, за якої вміст речовини у трофічних ланцюгах (кормових і харчових) не перевищує допустиму залишкову кількість;

2) ГДК летких речовин, за якої надходження речовини у повітря не перевищує встановлену ГДК для атмосферного повітря;

3) ГДК, за якої надходження речовини в ґрунтові води не перевищує ГДК для водних об'єктів;

4) ГДК, що не впливає на життєдіяльність мікроорганізмів та процеси самоочищення ґрунту.

Значення гранично допустимих концентрацій хімічних речовин у ґрунті наведено нижче.

Назва речовини	**ГДК, мг/кг**
Ванадій	15,0
Кобальт	5,0
Манган	
для чорнозему	700
для дерново-підзолистого ґрунту	700
pH 4	300
pH 5,1 – 5,9	400
pH 6	500
Мідь	3,0
Нікель	4,0
Ртуть	2,1
Свинець	32
Свинець (рухома форма)	6,0
Хром	6,0
Цинк	23
Нітрати	130
Арсен	20
Сірководень	0,4
Фосфор (суперфосфат)	200
Фториди (водорозчинна форма)	10
Бензол	0,3
Ксилоли	0,3
Стирол	0,1
Толуол	0,3
Рідкі комплексні добрива	80
Азотно-калійні добрива	120
Поверхнево-активні речовини	0,2

Для визначення санітарного стану ґрунту в житлових районах встановлено такі показники:

1) санітарно-хімічна оцінка (кількість личинок, лялечок, мух);

2) санітарно-гельмінтологічна оцінка (чисельність гельмінтів);

3) санітарне число ґрунту (відношення загальної кількості білка до органічного білка).

Комплексні гігієнічні показники санітарного стану ґрунтів наведено в табл. 16.2.

Таблиця 16.2. **Гігієнічні показники санітарного стану ґрунтів сільськогосподарських угідь і населених пунктів**

Оцінка якості ґрунту	Показник				
	Личинки і лялечки з 0,25 м² ґрунту, екз.	Яйця гельмінтів у 1 кг ґрунту, екз.	Колі-титр, мл	Титр анаеробних бактерій	Санітарне число
Чистий	0	0	> 1	> 0,1	0,98 – 1,0
Слабкозабруднений	Одиничні	До 20	1,0 – 0,01	0,1 – 0,001	0,85 – 0,98
Забруднений	10 – 25	11 – 100	0,01 – 0,001	0,001 – 0,00001	0,70 – 0,80
Дуже забруднений	>25	>100	<0,001	<0,00001	<0,70

Колі-титр — це найменший об'єм води (у мілілітрах), в якому виявляється одна кишкова паличка.

Вода в процесі колообігу транспортує тепло, розчиняє та переносить природні елементи, бере участь у метеорологічних і гідрологічних процесах, є середовищем існування водяних організмів і рослин, які продукують значну кількість кисню. Кількість та якість води відновлюються, якщо забезпечуються необхідні для цього умови. Однак розвиток сільського господарства, промисловості, транспорту, урбанізація призвели до того, що природні водойми вже неспроможні самоочищатися, тому потрібні штучні споруди для очищення води.

Водойми характеризуються площею водного дзеркала, глибиною, об'ємом та витратою води, швидкістю течії, рівнем води, температурою, тривалістю несприятливих за шкідливістю та умовами водообміну періодів (межень, льодостав, відсутність стоку тощо), показниками водообміну, фільтрувальними властивостями ґрунтів.

У використанні водних джерел встановлено пріоритет питного, побутового та рибницького водокористування. Категорії водокористувачів ілюструє рис. 16.4.



Рис. 16.4. Категорії водокористувачів

У водних об'єктах культурно-побутового призначення головними лімітуючими показниками є загальносанітарні та органолептичні норми; господарсько-питного призначення — санітарно-токсикологічні; рибогосподарського призначення — токсикологічні й органолептичні (частково) норми.

Залежно від рівня забруднення водні об'єкти бувають допустимого, помірного, високого та дуже високого рівнів, що необхідно враховувати, особливо при організації водоспоживання (табл. 16.3).

Рівні забруднення вод і стоків визначають фізичними, хімічними, біологічними та органолептичними методами. Встановлено такі гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у воді для водокористувачів I та II категорій (табл. 16.4).

Водні об'єкти з допустимим рівнем забруднення можна використовувати без обмежень, з помірним — лише для культурно-побутового водокористування. Водойми з високим рівнем забруднення небезпечні для будь-якого виду використання, з дуже високим — непридатні для жодного виду водокористування.

Забруднення атмосферного повітря стало великою соціальною й економічною проблемою, особливо для великих міст, промислових комплексів. Сьогодні у містах забруднення повітря у 154 рази більше, ніж над океаном.

Шкідливі речовини, що потрапляють в атмосферу із сільськогосподарських, промислових і транспортних підприємств, енергетичних установок розчиняються в повітрі й переносяться рухомими потоками повітря на великі відстані. Розсіювання забруднень приводить до зниження концентрації шкідливих речовин у зонах їх викиду, але одночасно збільшуються площі із забрудненим повітрям. На

характер поширення шкідливих речовин в атмосфері та на розмір зон забруднення впливають метеорологічні умови (горизонтальний і вертикальний рух мас повітря, їх швидкість, температура, вологість, наявність дощу, снігу, хмар).

Таблиця 16.3. **Показники та рівні забруднення водних об'єктів для водокристувачів I і II категорій**

Рівень забруднення	Органолептичний режим		Токсикологічний режим	Санітарний режим			Бактеріологічний режим	Індекс забруднення
	Запах, присмак, бал	$ГДК_{орг}$, ступінь перевищення	$ГДК_{токс}$, ступінь перевищення	$БСК_{20}$, мг/дм^3		Розчинений кисень, мг/дм^3	Число кишкових паличок в 1 дм^3	
				I категорія	II категорія			
Допустимий	2	1	1	3	6	4	$<10^4$	0
Помірний	3	4	3	6	8	3	$10^4 – 10^5$	1
Високий	4	8	10	8	10	2	$10^5 – 10^6$	2
Дуже високий	>4	>8	>10	>8	>10	1	$>10^6$	3

Примітка: $ГДК_{орг}$, $ГДК_{токс}$ — гранично допустимі концентрації речовин, встановлені відповідно за органолептичною та токсикологічною ознаками шкідливості; $БСК_{20}$ — біологічне споживання кисню за 20 діб для водойм I і II категорій водокористування.

Таблиця 16.4. **Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у водних об'єктах господарсько-питного та культурно-побутового водокористування**

Речовина	Клас небезпечності	ГДК, мг/л
Аміак (за азотом)	III	2,0
Сульфат амонію (за азотом)	III	1,0
Активний хлор	III	Відсутня
Ацетон	III	2,2
Бензол	II	0,5
Дихлоретан	II	0,02
Залізо	III	0,3
Кадмій	II	0,001
Капролактам	IV	1,0
Кобальт	II	0,1
Силіцій	II	10,0
Манган	III	0,1
Мідь	III	1,0
Натрій	II	200,0

Закінчення табл. 16.4

Речовина	Клас небезпечності	ГДК, мг/л
Нафтопродукти	IV	0,1
Нікель	III	0,1
Нітрати (за NO_3^-)	III	45,0
Нітрити (за NO_2^-)	II	3,0
Ртуть	III	0,0005
Свинець	II	0,03
Селен	II	0,01
Скипидар	IV	0,2
Фенол	IV	0,001
Хром	III	0,5
Цинк	III	1,0
Етиленгліколь	III	1,0

Крім метеорологічних чинників на розсіювання забруднень впливають рельєф місцевості, наявність лісів, водойм, гір тощо. На забрудненість територій міст і населених пунктів впливають їх планування та озеленення.

Кількісні та якісні показники забруднювальних речовин атмосферного повітря визначають за загальноприйнятими методиками розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі шкідливих речовин.

В Україні розроблені та діють їх нормативи — гранично допустимі концентрації, що гарантує екологічну безпеку населення, збереження генетичного фонду, забезпечує раціональне використання і відтворення природних ресурсів за умов сталого розвитку господарської діяльності. Перевищення нормативів ГДК негативно впливає на навколишнє середовище і здоров'я людей.

Нижче наведено гранично допустимі концентрації найпоширеніших шкідливих речовин у повітрі населених пунктів.

Речовина	**ГДК (середня добова)**
Тверді речовини (пил)	0,15
Діоксид сірки	0,05
Діоксид азоту	0,04
Оксид азоту	0,06
Оксид вуглецю	3,0
Аміак	0,04
Хлороводень	0,2
Ціанистий водень	0,01
Оксид кадмію	0,001
Свинець	0,0003
Сірководень	0,005
Бензапірен	0,000001
Фенол	0,003
Формальдегід	0,003
Фтороводень	0,005

За наявності в атмосферному повітрі кількох речовин, здатних до сумісної дії, сума їх концентрацій не повинна перевищувати одиницю (≤ 1). Розрахунок ведуть за виразом

$$\frac{C_1}{\text{ГДК}_1}+\frac{C_2}{\text{ГДК}_2}+\frac{C_3}{\text{ГДК}_3}+\ldots\frac{C_n}{\text{ГДК}_n}\le 1,$$

де C_1, C_2, ..., C_n — фактичні концентрації речовин в атмосферному повітрі; ГДК_1, ГДК_2, ..., ГДК_n — гранично допустимі концентрації цих речовин.

Всього налічується 32 речовини, здатні діяти сумісно.

До небезпечних речовин антропогенного походження, що потрапляють у навколишнє середовище, належать хімічні засоби боротьби зі шкідливими організмами — пестициди. Щорічний обсяг виробництва цих високотоксичних для людини і тварин речовин у світі перевищує 2 млн т. За даними ЮНЕСКО, пестициди в загальному обсязі забруднення біосфери Землі посідають 8 – 9-те місце після таких речовин, як нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, фосфати, мінеральні добрива, важкі метали, оксиди сірки, азоту, вуглецю.

Пестициди надходять у сільськогосподарські ландшафти під час проведення заходів боротьби зі шкідливими організмами. Джерелами забруднення є власне самі технології застосування пестицидів. Тому одним зі шляхів вирішення проблеми запобігання забрудненню ними навколишнього середовища є вдосконалення їх асортименту, що ґрунтується на загальній оцінці відповідності пестицидів конкретним умовам.

Пестициди треба оцінювати за двома категоріями: токсикологогігієнічними ($ЛД_{50}$ та ін.) та екотоксикологічними показниками (період піврозпаду в рослинах, ґрунті, воді тощо).

Сучасна теорія інтегральної системи захисту рослин засвідчує, що повне знищення популяції шкідника не виправдане не тільки економічно, а й екологічно, оскільки знищує кормову базу ентомофагів і дестабілізує механізм саморегуляції агроценозу.

Застосування пестицидів слід розглядати як спосіб оперативного керування агроценозом. Модель такого керування складається з трьох блоків: визначення потреби хімічних обробок; визначення оптимального рівня їх інтенсивності; оцінка потенційної небезпеки для біоти запланованого пестицидного навантаження.

Критеріями для прийняття таких рішень і контрольованих показників є агроекологічні, екотоксикологічні та гігієнічні нормативи і регламенти.

Значення допустимого залишкового вмісту пестицидів у продукції рослинництва наведено в табл. 16.5.

Таблиця 16.5. **Допустимі залишкові кількості (ДЗК) пестицидів у продукції сільськогосподарських культур**

Пестицид	Сільськогосподарська культура	ДЗК, мг/кг
Агелон	Кукурудза	0,1
Атразин	Овочі, фрукти	0,1
Базагран	Зернові	0,1
Бетанал	Цукрові і кормові буряки	0,2
2,4-Д	Харчові продукти	Не допускається
Діален	Зернові	Те саме
Ептам	Морква	«
Зенкер	Картопля, томати	0,25
Лонтрел	Зернові	0,1
Раундап	Капуста, цибуля	0,2
ТХАН	Зернові, картопля	0,01

Одними зі найнебезпечніших забрудників природного середовища і продуктів харчування є важкі метали, якими умовно вважають хімічні елементи з густиною понад 5 г/см^3.

Фоновий рівень важких металів постійно зростає у зв'язку із застосуванням різних хімікатів, інтенсифікації промислового виробництва, транспорту. Забруднені значні території, що шкідливо впливає на ґрунт, рослини, живі організми.

Для важких металів встановлені гранично допустимі концентрації. Залежно від рівня токсичності їх поділяють на: високотоксичні — кадмій, ртуть, нікель, хром, свинець, кобальт і помірно токсичні — мідь, цинк, манган (табл. 16.6).

Таблиця 16.6. **Гранично допустимі концентрації важких металів у кормах та продуктах харчування,** мг/кг сухої маси

Важкий метал	Продукт харчування	Корм
Цинк	10	50 – 100
Манган	300	
Молібден	3	2
Нікель	3	1 – 3
Хром	2	0,5
Кобальт	2	2
Свинець	0,5	5,0
Кадмій	0,003	0,3
Ртуть	0,02	0,05 – 0,1
Мідь	5	300
Фтор		10 – 200
Йод		2,0 – 5,0

Вміст важких металів у рослинах нині визначають за допомогою тест-методів на основі класичних кольорових реакцій, які дають змогу визначати токсиканти на рівні експрес-аналізу з високими точністю і селективністю.

Агроекологічний моніторинг меліорованих ґрунтів

Моніторинг осушених ґрунтів включає спостереження за їх станом і змінами у часі та просторі: оцінку стану ґрунтового покриву і прогноз можливих його змін; розробку науково обґрунтованих прийомів регулювання стану ґрунтів і режимів, що безпосередньо визначають їх родючість.

Основними процесами на осушених ґрунтах, які призводять до негативних екологічних наслідків, є забруднення рослинницької продукції нітратами, калієм, важкими металами, пестицидами тощо.

Особливого значення набувають процеси розкладання органічної маси, насамперед у торфових ґрунтах. На відміну від мінеральних, торфові ґрунти є своєрідними природними дуже нестійкими об'єктами, тому агроекологічний моніторинг їх включає:

- особливості генезису торфових ґрунтів (органогенність), що потребує відповідних показників агроекологічної оцінки та методів їх визначення;
- високі темпи трансформації торфових ґрунтів після осушення та в процесі сільськогосподарського використання визначають потребу суцільних великомасштабних ґрунтово-екологічних спостережень із періодичністю 10 – 15 років;
- своєрідність ґрунтового й мікробіологічного середовища на торфових ґрунтах погіршує адаптацію до них більшості культурних рослин, знижує якість сільськогосподарської продукції;
- зосередження торфових ґрунтів у зоні радіоактивного забруднення диктує необхідність радіологічних стаціонарних спостережень;
- переосушення торфових ґрунтів призводить до незворотної коагуляції ґрунтових колоїдів, їх гідрофобізації та розпилення ґрунту;
- високий ступінь мінералізації органічної речовини торфу після осушення і накопичення водорозчинних органічних солей порушують рівновагу геохімічного режиму території, підвищують трофність і рівень забруднення дренажних вод, водойм, річок. Зважаючи на високу екологічну вразливість торфових ґрунтів у процесі меліорації та сільськогосподарського використання, вони мають бути охоплені агроекологічним моніторингом для збереження їх від повної деградації й вибору раціональних напрямів використання.

Система агроекологічного моніторингу органогенних ґрунтів передбачає спостереження за процесами розкладання (мінералізації) торфу, накопичення надлишку нітратів, хлору, радіонуклідів, важких металів у дренажних водах, ґрунтах і рослинах, за режимом формування врожаю, рівнем підґрунтових вод, хімічним забрудненням водойм тощо. Стаціонарні спостереження здійснюють на типових об'єктах-полігонах, що характеризують відповідний природний

регіон поширення торфових ґрунтів однотипного мінерального живлення та умов їх залягання. В Україні виділено 10 агроекологічних регіонів поширення торфових ґрунтів.

За характером найпоширеніших видів деградації провідними є показники оцінки таких явищ, як спрацювання осушених торфовищ, їх надмірна мінералізація в умовах переосушення та просапної культури, ерозія, забруднення ґрунту, дренажних вод і рослин нітратами тощо (табл. 16.7).

Таблиця 16.7. **Основні оцінкові критерії агроекологічного стану торфових ґрунтів**

Вид деградації	Характер оцінки	Критерій, одиниця виміру	Вираженість деградації				
			відсутня	слабка	середня	висока	дуже висока
Сільськогосподарське використання	Інтенсивність процесу	Втрати торфозему, т/га за рік	3	3–6	6–12	12–20	20
	Рівень деградації	Накопичення перегною в розрахунку на 1 т торфу в 0 – 60 см шарі, кг/га	400	400–300	300–200	200–100	100
	Мінералізація органічних речовин	Втрати органічних речовин, т/га за рік	2	2–4	4–8	8–15	15
Озалізнення торфового ґрунту	Рівень деградованості	Валовий вміст Fe_2O_3, %	4	4–8	8–15	15–30	30
Забруднення ґрунту нітратами	Рівень забруднення	Вміст нітратів, мг/дм^3 торфу	50	50–100	100–150	150–250	250
Промислові виробки торфовища	Зменшення запасів торфу й утворення торфових кар'єрів	Потужність залишкового шару торфу на мінеральному ложі, см	60	50–60	40–50	30–40	30

Керування агроекологічним станом торфових ґрунтів базується на принципі зворотного зв'язку і встановлення нормативів оптимі-

зації їх використання. Критерії агроекологічної оцінки торфових ґрунтів придатні для вибору управлінських рішень щодо їх охорони та підвищення продуктивності.

У регіоні зрошувального землеробства агроекологічна оцінка включає вплив зрошення, засобів хімізації та інших чинників на родючість ґрунту, врожайність і якість рослинницької продукції, мінералізацію і забруднення поверхневих і ґрунтових вод.

Завдання агроекологічного моніторингу полягає у спостереженні, оцінці прогнозів та керуванні станом основних показників родючості ґрунту й гідрогеологічного середовища для отримання високих урожаїв доброї якості за мінімальних норм поливної води, добрив, а також запобігання забрудненню навколишнього природного середовища.

Моніторинг проводять на базі довготривалих стаціонарних дослідів і спеціальних полігонів.

Оцінюють також вміст макро- і мікроелементів у рослинах за основними фазами їх росту і розвитку, вміст у продукції нітратів, залишкових кількостей пестицидів, важких металів.

Інформаційна інфраструктура агроекологічного моніторингу

Інформаційна система агроекологічного моніторингу є частиною системи взаємодії людини з навколишнім середовищем, оскільки інформація про реальний стан агроекосистем і тенденції щодо їх зміни має бути основою для розробки заходів з охорони навколишнього середовища.

Структура агроекологічного моніторингу включає широкий набір кількісних і якісних параметрів, які всебічно характеризують рослину та середовище її вирощування. Повноцінна систематизація отриманих даних, обробка й аналіз, оперативне й ефективне їх використання для наступних вирішень різних функціональних завдань можливі в разі організації упорядкованих інформаційних потоків у вигляді баз даних. Необхідна систематизація експериментального матеріалу в досить уніфікованій формі. На рис. 16.5 наведено інфраструктуру баз даних для здійснення агроекологічного моніторингу.

При формуванні баз даних агроекологічного моніторингу ставляться жорсткі вимоги до інформації, отримуваної на всіх його рівнях.

Інформація в повному обсязі включає всі матеріали коротко- та довготривалих експериментів, що проводились раніше і проводяться нині на базі центру родючості ґрунтів, географічної мережі дослідів із сільськогосподарськими культурами в різних ґрунтово-кліматичних зонах.



Рис. 16.5. Формування баз даних агроекологічного моніторингу

В кінцевому результаті з'являється можливість здійснення цілеспрямованих та ефективних заходів щодо регулювання якості середовища та запобігання негативним наслідкам антропогенних впливів у агроекосистемах.

16.3. Основи екологічної експертизи

Мета та завдання екологічної експертизи

В Україні екологічну експертизу почали здійснювати на початку 1980-х років через значне погіршення екологічної ситуації, особливо після аварії на ЧАЕС.

Поняття «експертиза» включає дослідження, що потребують відповідних знань. Їх проводять спеціальні установи та організації, створювані комісії чи еколого-експертні підрозділи Міністерства екології і природних ресурсів самостійно.

Згідно із законом «Про екологічну експертизу», затвердженим Верховною Радою України 9 лютого 1995 р., проведення екологічної експертизи є обов'язковим у процесі законотворчої, інвестиційної, управлінської, господарської діяльності, що впливає на стан навколишнього середовища. Адже сьогодні стан навколишнього середовища потребує об'єктивної і своєчасної оцінки антропогенного впливу та розробки відповідних заходів щодо усунення можливих негативних наслідків.

Екологічній оцінці підлягає комплекс господарських нововведень на локальному, регіональному і національному рівнях, впровадження (реалізація) яких може призвести до порушення норм екологічної безпеки, негативного впливу на навколишнє середовище чи створення небезпеки для здоров'я людей.

Екологічна експертиза відповідно до встановленого державою порядку є обов'язковою для всіх міністерств, відомств, організацій і підприємств.

Екологічна експертиза в Україні — це вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі й оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і функціонування яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього середовища, здоров'я людей і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, регіонального використання, відтворення природних ресурсів, гарантування екологічної безпеки.

Основними принципами екологічної експертизи є:

1) гарантування безпечного для життя та здоров'я людей навколишнього природного середовища;

2) збалансованість екологічних, економічних, медико-біологічних і соціальних інтересів, врахування громадської думки;

3) наукова обґрунтованість, незалежність, об'єктивність, комплексність, варіантність, гласність;

4) екологічна безпека, територіально-галузева й економічна доцільність реалізації об'єктів екологічної експертизи, запланованої чи здійснюваної діяльності;

5) державне регулювання;

6) законність.

Мета екологічної експертизи — запобігання негативному впливу навколишнього середовища на здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Екологічна експертиза передбачає вирішення таких *основних завдань*:

- визначення ступеня екологічного ризику і безпеки запланованої чи здійснюваної діяльності;
- організація комплексної, науково обґрунтованої оцінки об'єктів екологічної експертизи;
- встановлення відповідності об'єктів вимогам екологічного законодавства, санітарних норм, будівельних норм і правил;
- оцінка впливу діяльності об'єктів екологічної експертизи на стан навколишнього природного середовища, здоров'я людей, якість природних ресурсів;
- оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього природного середовища і здоров'я людей;

♦ підготовка об'єктивних, всебічно обґрунтованих висновків екологічної експертизи.

Результати експертизи виражають як в економічних, так і в не економічних одиницях (погіршення якості середовища життя, загроза здоров'ю людей, пригнічення життєдіяльності рослин і мікроорганізмів та ін.)

Об'єкти і суб'єкти екологічної експертизи

Об'єктами екологічної експертизи є:

1) державні інвестиційні програми, проекти схем розвитку і розміщення продуктивних сил, розвитку окремих галузей народного господарства;

2) проекти генеральних планів населених пунктів, схем районного планування, схем розміщення підприємств у промислових центрах і районах, схем упорядкування промислової забудови, інша передпланова і передпроектна документація;

3) інвестиційні проекти, техніко-економічні обґрунтування і розрахунки, проекти і робочі проекти на будівництво нових та розширення, реконструкцію, технічне переозброєння діючих підприємств, документація щодо перепрофілювання, консервації, ліквідації діючих підприємств, окремих цехів, виробництв, інших промислових і господарських об'єктів, які можуть негативно впливати на стан навколишнього природного середовища, в тім числі військового й оборонного призначення;

4) проекти законодавчих та інших нормативно-правових актів, що регулюють відносини в галузі гарантування екологічної безпеки, охорони навколишнього природного середовища і використання природних ресурсів, діяльності, що може негативно впливати на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей;

5) документація щодо впровадження нової техніки, технологій, матеріалів і речовин (у тім числі тих, що закуповуються за кордоном), які можуть створити потенційну загрозу навколишньому природному середовищу та здоров'ю людей.

Відповідно до рішень Кабінету Міністрів України, місцевих рад народних депутатів чи їх виконавчих комітетів державній екологічній експертизі можуть підлягати екологічні ситуації, що склалися в окремих населених пунктах і регіонах, а також діючі об'єкти та комплекси, в тім числі військового й оборонного призначення, що чинять значний вплив на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей.

Суб'єктами екологічної експертизи є:

1) Міністерство екології і природних ресурсів України, його органи на місцях, створювані ними спеціалізовані установи, організації та еколого-експертні підрозділи чи комісії;

2) органи та установи Міністерства охорони здоров'я України — в частині, що стосується експертизи об'єктів, які можуть негативно впливати чи впливають на здоров'я людей;

3) інші державні органи, місцеві ради народних депутатів і органи виконавчої влади на місцях відповідно до законодавства;

4) громадські організації екологічного спрямування чи створювані ними спеціалізовані формування;

5) інші установи, організації та підприємства, в тім числі іноземні юридичні і фізичні особи, які залучаються до проведення екологічної експертизи;

6) окремі громадяни в порядку, передбаченому цим Законом та іншими актами законодавства.

Форми екологічної експертизи. На сьогодні в Україні здійснюються державна, громадська та інші екологічні експертизи.

Висновки державної екологічної експертизи є обов'язковими для виконання. Приймаючи рішення щодо подальшої реалізації об'єктів екологічної експертизи, висновки державної екологічної експертизи враховуються нарівні з іншими видами державних експертиз.

Висновки громадської та інших екологічних експертиз мають рекомендаційний характер і можуть бути враховані при проведенні державної екологічної експертизи, а також при прийнятті рішень щодо подальшої реалізації об'єкта екологічної експертизи.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою юридичних і фізичних осіб на договірній основі зі спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями. Угоду про надання еколого-експертних послуг затверджує Міністерство екології і природних ресурсів України.

При проведенні екологічної експертизи обов'язково мають бути враховані такі природоохоронні показники:

1) вдале, з екологічного погляду, розміщення промислового чи іншого господарського об'єкта (не порушує меж існуючих територій природно-заповідного фонду, цінних ландшафтів, орних земель, багаторічних насаджень; враховує характеристики рози вітрів щодо найближчих населених пунктів та ін.);

2) застосування досконалих енергозберігаючих, мало- і безвідходних технологій виробництва, що забезпечують комплексне, максимально повне використання мінеральних і біологічних ресурсів;

3) раціональне й економне використання водних ресурсів у виробничому процесі, забезпечення ефективного очищення всіх видів стічних вод, застосування економних технологій зрошення на меліоративних системах, здійснення заходів щодо запобігання забрудненню поверхневих і підземних вод дренажним стоком;

4) застосування високоефективних пилогазоочисних споруд, здатних забезпечити неперевищення встановлених показників грани-

чно допустимих концентрацій забруднювальних речовин в атмосфері;

5) забезпечення максимально можливої утилізації всіх видів відходів, що утворюються на об'єкті в процесі його виробничої діяльності чи екологічно безпечного їх поховання;

6) максимально можливе збереження існуючих зелених насаджень, відновлення порушених і створення нових, виконання заходів щодо охорони тваринного світу;

7) надійний захист довкілля від шкідливого впливу фізичних чинників — шуму, вібрації, електромагнітних полів, ультра- та інфразвуку.

Організація проведення державної екологічної експертизи проектної документації

Під *проектною документацією* слід розуміти інвестиційні програми та проекти, іншу передпроектну та проектно-кошторисну документацію, що регулює відносини в галузі охорони навколишнього природного середовища.

У процесі експертної оцінки проектної документації визначається ступінь екологічного ризику і безпеки запланованої діяльності та відповідність об'єктів екологічної експертизи вимогам екологічного законодавства, санітарним і будівельним нормам і правилам, дається оцінка ефективності, повноти, обґрунтованості та достатності заходів щодо охорони навколишнього середовища.

Визначення конкретних організацій-виконавців робочих матеріалів попередньої оцінки проектів входить до компетенції керівників еколого-експертних підрозділів Міністерства екології і природних ресурсів та його органів на місцях. Їх завдання щодо підготовки робочих матеріалів попередньої оцінки проектної документації або безпосередньої підготовки проектів висновків державної екологічної експертизи оформляють у вигляді офіційних листів і визначають конкретні умови виконання відповідної роботи.

Підготовка робочих матеріалів попередньої оцінки проектної документації чи проектів висновків державної екологічної експертизи за завданням еколого-експертних підрозділів здійснюється за домовленістю між замовниками документації та організаціями, що готують ці матеріали чи проекти висновків. Оплата виконаних робіт здійснюється згідно з угодами за рахунок коштів бюджетного фонду охорони навколишнього середовища або відповідних місцевих позабюджетних коштів.

У разі потреби до оцінки документації, що подається на державну екологічну експертизу можуть залучатися фахівці всіх структурних підрозділів Міністерства екології і природних ресурсів чи його

органів на місцях, а також спеціально створені ним комісії із залученням спеціалістів науково-дослідних, вищих навчальних закладів, експертів міжнародних організацій, громадськості.

Висновки екологічної експертизи складаються зі вступу, констатуючої та підсумкової частин і оформляються в довільній формі.

Підготовлені висновки мають зводитись до трьох можливих варіантів:

1) документація розроблена загалом відповідно до вимог природоохоронного законодавства, чинних нормативних документів, позитивно оцінюється;

2) документація, що не повною мірою відповідає вимогам природоохоронного законодавства і чинних нормативних документів, повертається на доопрацювання; строк доопрацювання встановлюється за домовленістю сторін;

3) документація, реалізація проектних рішень якої суперечить вимогам природоохоронного законодавства і є неприйнятною з природоохоронного погляду, оцінюється негативно і відхиляється; негативна оцінка має бути максимально обґрунтованою.

Існують певні вимоги до складу документації, що подається на державну екологічну експертизу. Еколого-експертні підрозділи та його органи на місцях приймають для екологічної оцінки документацію, яка містить:

1) загальну інформацію про об'єкт проектування (як правило, загальну пояснювальну записку);

2) стислий виклад змісту проекту (паспорт чи конспект проекту);

3) розділ (том, параграф та ін.) — оцінка впливу запроектованої діяльності на стан навколишнього середовища; цей розділ розробляється згідно з вимогами державних будівельних норм України «Проектування. Склад і зміст матеріалів оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд. Основні положення проектування» (ДБН А.2.2-1–95).

4) заяву про очікувані (передбачувані) екологічні наслідки запропонованої діяльності — результат матеріалів ОВНС.

До документації, що надається для здійснення екологічної експертизи, мають додаватися копії всіх погоджень і висновків зацікавлених організацій, отриманих раніше.

Крім того, на вимогу еколого-експертних підрозділів мають також бути надані висновки відомчої експертизи організацій-замовників та місцевих органів влади.

Здійснення екологічної експертизи документації щодо видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку, згідно з переліком, який затверджує Кабінет Міністрів України, можливе лише після оголошення замовником через засоби масової інформації Заяви про екологічні наслідки діяльності.

Перелік
видів діяльності та об'єктів,
що становлять підвищену екологічну небезпеку

1. Атомна енергетика та атомна промисловість.
2. Біохімічне, біотехнічне і фармацевтичне виробництво.
3. Збір, обробка, зберігання, поховання, знешкодження й утилізація всіх видів промислових і побутових відходів.
4. Видобуток нафти, нафтохімія і нафтопереробка.
5. Добування і переробка природного газу, будівництво газосховищ.
6. Хімічна промисловість (включаючи виробництво засобів захисту рослин, стимуляторів їх росту, мінеральних добрив), текстильне виробництво.
7. Металургія.
8. Вугільна, гірничодобувна промисловість, видобуток і переробка торфу, сапропелю.
9. Виробництво, зберігання, утилізація і знешкодження боєприпасів усіх видів, вибухових речовин і ракетного палива.
10. Виробництво електроенергії і тепла на основі органічного палива.
11. Виробництво будівельних матеріалів (цементу, асфальтобетону, азбесту, скла).
12. Целюлозно-паперова промисловість.
13. Деревообробна промисловість.
14. Машинобудування і металообробка.
15. Будівництво гідроенергетичних та гідротехнічних споруд, меліоративних систем.
16. Будівництво аеропортів, залізничних вузлів і вокзалів, автовокзалів, річкових і морських портів, залізничних і автомобільних магістралей, метрополітенів.
17. Тваринництво (тваринницькі комплекси продуктивністю понад 5000 голів і птахофабрики).
18. Виробництво харчових продуктів (м'ясокомбінати, молокозаводи, цукрозаводи, спиртозаводи).
19. Обробка продуктів і переробка відходів тваринного походження (переробка шкіри, виготовлення клею і технічного желатину, утильзаводи).
20. Будівництво каналізаційних систем і очисних споруд.
21. Будівництво водозаборів поверхневих і підземних вод для централізованих систем водопостачання населених пунктів, водозабезпечення меліоративних систем, окремих промислових підприємств.
22. Інші окремі об'єкти, будівництво й експлуатація яких можуть негативно впливати на стан навколишнього середовища, які у кожному конкретному випадку визначаються Міністерством екології і природних ресурсів або його органами на місцях.

Оцінка впливу проектованої діяльності на навколишнє середовища

Метою оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС) є екологічне обґрунтування доцільності проектованої діяльності та способів її реалізації, визначення шляхів і засобів нормалізації стану навколишнього середовища та забезпечення вимог екологічної безпеки.

ОВНС виконується з урахуванням пріоритету екологічних чинників у їх взаємодії з соціальними та економічними й перерозподілу їх на локальному і регіональному рівнях.

Розробка матеріалів ОВНС доручається спеціалізованим та іншим організаціям, які мають відповідні ліцензії. Проектно-кошторисна документація на будівництво має містити матеріали ОВНС у вигляді спеціальної частини (розділу) документації.

Для видів діяльності та об'єктів, що становлять підвищену екологічну небезпеку, матеріали ОВНС розробляють за такою структурою:

- підстави для проведення ОВНС;
- фізично-географічна і кліматична характеристика району розміщення об'єкта;
- загальна характеристика об'єкта проектування;
- характеристика навколишнього природного середовища та оцінка впливів на нього;
- характеристика навколишнього соціального середовища та оцінка впливів на нього;
- оцінка впливів проектованої діяльності на навколишнє техногенне середовище;
- заходи щодо забезпечення нормативного стану навколишнього середовища та екологічної безпеки;
- комплексна оцінка впливів проектованої діяльності на навколишнє середовище та характеристика залишкових впливів;
- Заява про екологічні наслідки діяльності.

Вихідними даними для виконання ОВНС є матеріали оцінки екологічного стану території, державного моніторингу навколишнього середовища, відомчого контролю, результати наукових досліджень, інженерно-екологічних та інших вишукувань. За недостатньої повноти — додаткові інженерно-екологічні вишукування на базі сучасних методик і технічних засобів.

Для інших видів діяльності та об'єктів, які не входять до «Переліку…», обсяг і зміст матеріалів ОВНС визначають замовник і генеральний проектувальник за участю місцевих органів Міністерства екології і природних ресурсів з обов'язковим детальним розглядом характеристики навколишнього середовища та оцінки впливів об'єкта на нього.

При оцінюванні впливів об'єкта на навколишнє природне середовище виділяють такі основні компоненти: повітряне середовище;

водне середовище; ґрунт; рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти.

Повітряне середовище. Аналізу підлягають впливи пріоритетних і специфічних забруднювальних речовин, що містяться у викидах проектованої діяльності з урахуванням фонових концентрацій у межах зон їхніх впливів: наводять кількісні характеристики; враховують впливи, що мають додаватись; наводять результати розрахунків приземних концентрацій; враховують можливі аварійні ситуації і несприятливі метеорологічні умови; обґрунтовують рівні гранично допустимих викидів і заходи щодо запобігання або зменшення утворення і виділення забруднювальних речовин в атмосферу.

Водне середовище. Аналізу підлягають впливи на поверхневі і підземні води забруднювальних речовин, які надходять у водне середовище при скидах усіх видів стічних вод та фільтраційних витоках. При оцінюванні впливів проектованої діяльності на стан поверхневих вод і гідробіоценози розглядають: морфометричні, гідродинамічні та водобалансові параметри; якість вод, включаючи фізичні, хімічні, санітарно-гігієнічні, токсикологічні, паразитологічні, радіоекологічні характеристики; біологічні характеристики (видовий склад, чисельність, біомасу гідробіонтів). Матеріали, які характеризують підземні води, включають загальні відомості про басейни підземних вод, потужність зон активного водообміну, дані щодо їх господарського використання, перелік і опис пунктів гідрогеологічних спостережень та результати цих спостережень. Обґрунтовуються заходи щодо відвернення або зменшення надходження у водне середовище забруднювальних речовин, виснаження поверхневих і підземних водних ресурсів, погіршення стану вод і деградації угруповань водяних організмів.

Ґрунт. Аналізу підлягають впливи проектованої діяльності на ґрунти з урахуванням особливостей землекористування, забруднення ґрунту шкідливими речовинами. При оцінюванні впливів враховують: генетичні види ґрунтів, характеристики їх гумусного горизонту, механічні і водно-фізичні властивості; накопичення і міграцію речовин; родючість; ґрунтову мікрофлору і фауну; ступінь розвитку процесів деградації ґрунтів тощо. Обґрунтовують заходи щодо запобігання або зменшення впливів на ґрунти та зниження їх родючості, щодо рекультивації площ, які тимчасово вилучають із землекористування, відпрацьованих кар'єрів, інших порушених земель, а також проведення робіт із поліпшення якості малопродуктивних сільськогосподарських угідь за рахунок використання знятого в інших місцях родючого шару ґрунту.

Рослинний і тваринний світ, заповідні об'єкти. Вихідні дані для характеристики стану й оцінки змін рослинного і тваринного світу формують на основі фондових даних і матеріалів натурних до-

сліджень. Аналізу підлягають впливи на рослинний і тваринний світ пріоритетних і специфічних забруднювальних речовин які надходять у навколишнє середовище в результаті проектованої діяльності. Оцінюють зміни складу рослинних угруповань, фауни, видової різноманітності, їх фізіологічного стану і продуктивності, стійкості до хвороб, обґрунтовують заходи щодо запобігання виснаженню і деградації рослинних угруповань і фауни, накопичення ними шкідливих речовин. Враховують наявність у зонах впливів проектованої діяльності об'єктів природно-заповідного фонду і територій, шляхів міграції птахів і тварин, обґрунтовують заходи щодо забезпечення збереження режиму заповідності та шляхів міграції.

Як результат ефективності природоохоронних і захисних заходів, передбачених у матеріалах ОВНС, складають «Заяву про екологічні наслідки діяльності», яка є юридичним документом стосовно суті цих наслідків із гарантії виконання заходів щодо екологічної безпеки на весь період здійснення проектованої діяльності. Заяву складають замовник та генеральний проектувальник, вона є резюме ОВНС, де мають бути відображені:

- дані про мету і засоби здійснення проектованої діяльності;
- перелік найбільших впливів на навколишнє середовище, підсумки їх якісної та кількісної оцінки з урахуванням можливих аварійних ситуацій;
- оцінка екологічного ризику проектованої діяльності;
- перелік заходів, що забезпечують нормативний стан навколишнього середовища, включаючи систему спостереження і контролю (моніторинг);
- перелік залишкових впливів;
- зобов'язання замовника щодо здійснення проектних рішень відповідно до норм і правил охорони навколишнього середовища, вимог екологічної безпеки на всіх етапах будівництва та експлуатації об'єктів проектованої діяльності.

Заяву про екологічні наслідки діяльності підписують замовник і генеральний проектувальник, її копія подається для контролю до місцевих органів влади.

Строки проведення державної екологічної експертизи і термін дії її висновку. Строк проведення експертизи не повинен перевищувати 45 календарних днів. У разі потреби за рішенням еколого-експертних підрозділів Міністерства екології і природних ресурсів та його органів на місцях строк може бути продовжений до 60 днів, а у виняткових випадках залежно від складності проблеми — до 120 днів.

Граничні строки проведення експертизи спеціально створеними міжгалузевими еколого-експертними підрозділами — до 90 днів, визначаються договорами між виконавцями і замовниками експер-

тизи. При розгляді проектної документації, доопрацьованої і відкоригованої згідно з вимогами раніше зроблених висновків державної екологічної експертизи, строки підготовки остаточних висновків — до 30 календарних днів.

Термін дії позитивного висновку державної екологічної експертизи — 3 роки від дня його видачі.

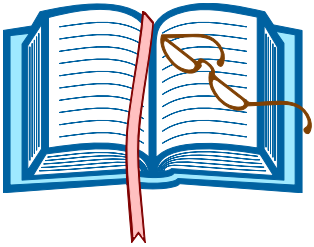
Висновок, згідно з яким документацію направляють на доопрацювання, діє доти, доки вимоги еколого-експертного підрозділу не будуть виконані.

Правова основа і нормативна база екологічної експертизи. Правовою основою екологічної експертизи є екологічне законодавство України: екологічні статті Конституції України, Закон України «Про екологічну експертизу» (№ 45/95-ВР від 09.02.1995 р.), Земельний кодекс, Лісовий кодекс та ін. Нормативною базою екологічної експертизи є комплекс чинних природоохоронних і технічних стандартів, будівельних норм і правил, санітарно-гігієнічні та екологічні нормативи. Сюди ж належать і ненормативні показники, такі як природні особливості місцевості, напрямки вітрів, тумани, повітряні інверсії, рельєф тощо, в разі використання яких експерти можуть давати об'єктивну оцінку робіт.

Отже, еколого-експертна діяльність має прогнозуватись не тільки на проектний період, а й на перспективу, щоб зберегти оптимальний режим екосистеми суспільство — природа.

Запитання для самоконтролю

1. Що означає термін «моніторинг» і чим він різниться від терміна «контроль»? **2.** Перелічіть види моніторингу. **3.** Яке місце агроекологічного моніторингу в системі землеробства? **4.** Схарактеризуйте об'єкти агроекологічного моніторингу. **5.** У чому полягають особливості агроекологічного моніторингу меліорованих ґрунтів? **6.** З якою метою здійснюють екологічну експертизу? **7.** Які завдання екологічної експертизи? **8.** Перелічіть форми екологічної експертизи. **9.** Схарактеризуйте об'єкти і суб'єкти екологічної експертизи. **10.** Які структура матеріалів ОВНС (оцінки впливу об'єкта на навколишнє середовище)? **11.** Які складові висновків екологічної експертизи?



Список рекомендованої літератури

1. *Агроекологія* / М.М. Городній, М.К. Шикула, І.М. Гудков та ін. — К.: Вища шк., 1993. — 416 с.
2. *Агроэкология* / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; Под ред. В.А. Черникова, А.И. Чекереса. — М.: Колос, 2000. — 536 с.
3. *Алімов Д.М., Шелестов Ю.В.* Технологія виробництва продукції рослинництва. — К.: Вища шк., 1995. — 271 с.
4. *Безвідхідна* переробка цукрових буряків / О.С.Заєць, В.О.Штангеєв, Ю.О.Заєць та ін. — К.: Урожай, 1992. — 184 с.
5. *Вальков В.Ф.* Почвенная экология сельскохозяйственных растений. — М.: Агропромиздат, 1986. — 207 с.
6. *Вернадский В.И.* Биосфера. — М.: Мысль, 1974. — 460 с.
7. *Веселовський І.В., Бегей С.В.* Ґрунтозахисне землеробство. — К.: Урожай, 1995. — 304 с.
8. *Волобуев В.Р.* Введение в энергетику почвообразования. — М.: Наука, 1974. — 128 с.
9. *Воспроизводство* гумуса и хозяйственно-биологический круговорот органического вещества в земледелии (рекомендации). ВНИПТИОУ. — М.: Агропромиздат, 1989. — 65 с.
10. *Грингоф И.Г., Попова В.В., Страшний В.Н.* Агрометеорология. — Л.: Гидрометеоиздат, 1987. — 310 с.
11. *Ґудзь В.П., Примак І.В., Будьонний Ю.В.* Землеробство. — К.: Урожай, 1996. — 384 с.
12. *Дегодюк Е.Г., Сайко В.Ф., Корнійчук М.С.* Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. — К.: Урожай, 1992. — 320 с.
13. *Джигирей В.С., Сторожук В.М., Яцюк Р.А.* Основи екології та охорона навколишнього природного середовища. — Львів: Афіша, 2000. — С. 123 – 160.
14. *Дмитренко П.О., Витриховський П.І.* Удобрення та густота посіву польових культур. — К.: Урожай, 1975. — 248 с.
15. *Добровольский Г.В.* Экологические функции почв. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. — 260 с.
16. *Екологічна* токсикологія / В.М. Шумейко, І.В. Глухівський, В.М. Овруцький та ін. — К.: Столиця, 1998. — 204 с.
17. *Екологія*: основи теорії і практикум / А.Ф. Потіш, В.Г. Медвідь. — Львів, 2003. — 293 с.
18. *Екологія* та рослинництво / П.В. Литвак, А.С. Малиновський, М.Ф. Рибак, О.А. Дереча. — Житомир: Полісся, 2001. — 230 с.

19. *Жарінов В.І., Довгаль С.В.* Словник-довідник по агроекології. — К.: Урожай, 2001. — 374 с.
20. *Земельні* ресурси України / За ред. В.В. Медведєва, Т.М. Лактіонової. — К.: Аграрна наука, 1998. — 448 с.
21. *Зінченко О.І., Салатенко В.Н., Білоножко М.А.* Рослинництво / За ред. О.І. Зінченка. — К.: Аграрна освіта, 2001. — 591 с.
22. *Кант Г.* Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем. — М.: Агропромиздат, 1988. — 207 с.
23. *Кисіль В.І.* Біологічне землеробство: тенденції в світі та позиція України // Вісн. аграрної науки. — 1997. — № 10. — С. 9 – 13.
24. *Климатология* / О.А. Дроздов, В.А. Васильев, Н.В. Кобышева и др. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 567 с.
25. *Кубланов С.Х., Шпаківський Р.В.* Моніторинг довкілля. — К.: ІПКМУ, 1998. — 92 с.
26. *Куценко О.М., Писаренко В.М.* Агроекологія. — К.: Урожай, 1995. — 253 с.
27. *Леман В.М.* Курс светокультуры растений. —2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1976. — 271 с.
28. *Лукин Е.И.* Зоология. — М.: Высш. шк., 1981. — 399 с.
29. *Макаренко П.С.* Культурні пасовища. — К.: Урожай, 1988. — 160 с.
30. *Макарова Л.А., Минкевич И.И.* Погода и болезни культурных растений. — Л.: Гидрометеоиздат, 1977. — 144 с.
31. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1976. — 639 с.
32. *Математические* методы оценки агроклиматических ресурсов / В.А. Жуков, А.Н. Полевой, А.Н. Витченко, С.А. Даниелов. — Л.: Гидрометеоиздат, 1989. — 208 с.
33. *Медведовський О.К.* Біоенергетична оцінка інтенсивних технологій вирощування сільськогосподарських культур. — К.: Урожай, 1993. — 65 с.
34. *Медведовський О.К., Іваненко П.І.* Енергетичний аналіз в сільськогосподарському виробництві. — К.: Урожай, 1988. — 208 с.
35. *Мельник Л.Г.* Екологічна економіка. — Суми: Університетська книга, 2002. — 345 с.
36. *Методика* биоэнергетической оценки производства продукции растениеводства. — М.: ВИМ, 1983. — 36 с.
37. *Методики* випробування і застосування пестицидів / С.О. Трибель, Д.Д. Сігарьова, М.П. Секун та ін.; За ред С.О. Трибеля. — К.: Світ, 2001. — 448 с.
38. *Минеев В.Г.* Агрохимия. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1990. — 486 с.
39. *Минеев В.Г.* Химизация земледелия и природная среда. — М.: Агропромиздат, 1990. — 287 с.
40. *Мониторинг* окружающей среды: Конспект лекций. — Харьков: ХГАДТУ, 1998. — 103 с.
41. *Мониторинг* пестицидов и экотоксикологические критерии их применения в агроэкосистемах / В.Н. Кавецкий, Н.А. Макаренко, Л.В. Кицно и др. — К.: Аграрна наука, 1996. — С. 34 – 45.
42. *Надточій П.П., Вольвач Ф.В., Гермашенко В.Г.* Екологія ґрунту та його забруднення. — К.: Аграрна наука, 1997. — 286 с.

43. *Павловський В.Б., Василенко І.Д., Урсулов В.Ф.* Агрометеорологія / За ред. В.Б. Павловського. — К.: Вища шк., 1994. — 174 с.
44. *Паромчик И.И., Субоч Ф.И., Скачков Е.Н.* Безотходная технология переработки картофеля. — Минск: Навука и тэхника, 1990. — 136 с.
45. *Патика В.П., Тараріко О.Г.* Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. — К.: Фітосоціоцентр, 2002. — 296 с.
46. *Перелік* пестицидів і агрохімікатів, дозволених до використання в Україні: Офіційне видання. — К.: Юнівест Маркетинг, 2001. — 270 с.
47. *Пестициды*: Справочник / В.И. Мартыненко, В.К. Промоненков, С.С. Кукаленко и др. — М.: Агропромиздат, 1992. — 368 с.
48. *Погода* и урожай / Пер. с чешского и предисловие З.К. Благовещенской. — М.: Агропромиздат, 1990. — 332 с.
49. *Полуэктов Р.А.* Динамические модели агроэкосистемы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1991. — 312 с.
50. *Розведення* сільськогосподарських тварин з основами спеціальної зоотехнії / Т.В. Засуха, М.В. Зубець, Й.З. Сірацький та ін. — К.: Аграрна наука, 1999. — 510 с.
51. *Рубан Ю.Д.* Скотарство: технологія виробництва молока та яловичини. — Харків: Еспада, 2002. — 571 с.
52. *Саник А.П., Кулаківська О.П.* Зоологія з основами екології. — К.: Урожай, 2000. — 285 с.
53. *Сельскохозяйственная* экология / Н.А. Уразаев, А.А. Вакулин, А.В. Никитин и др. — М.: Колос, 2000. — 304 с.
54. *Серов Г.П.* Экологический аудит. — М.: Экзамен, 1999. — 445 с.
55. *Сівозміни* у землеробстві України: Методичні рекомендації / За ред. В.Ф. Сайка, П.І. Бойка. — К.: Аграрна наука, 2002. — 147 с.
56. *Таран В.В., Папцов А.Г.* Социально-экономические и экологические аспекты формирования альтернативных систем сельского хозяйства в промышленно развитых странах: Обзорная информ. / ВНИИТЭИагропром. — М., 1992. — 50 с.
57. *Тараріко Ю.О.* Енергетична оцінка систем землеробства і технологій вирощування сільськогосподарських культур: Методичні рекомендації. — К.: Нора-прінт, 2001. — 60 с.
58. *Фітофармакологія* / М.Д. Євтушенко, Ф.М. Марютін, В.П. Туренко та ін.; За ред. М.Д. Євтушенка, Ф.М. Марютіна. — К.: Вища освіта, 2004. — 432 с.
59. *Химическое* загрязнение почв и их охрана: Словарь-справочник / Д.С. Орлов, М.С. Малинина, Г.В. Мотузова и др. — М.: Агропромиздат, 1991. — 303 с.
60. *Циганенко О.І.* Нітрати у харчових продуктах. — К.: Здоров'я, 1990. — 56 с.
61. *Цупенко Н.Ф.* Справочник агронома по агрометеорологии. — К.: Урожай, 1990. — 238 с.

Зміст

Вступ (*Смаглій О.Ф., Литвак П.В., Малиновський А.С.*) 3

Концепція безперервної екологічної освіти та виховання 5
Історія становлення та розвитку сільськогосподарської екології як прикладного напряму загальної екології 11
Міждисциплінарні зв'язки та методологічно-світоглядне значення науки 17
Методи досліджень 20
Системна парадигма — методологічні основи науки 23
Стратегія сталого розвитку агропромислового комплексу 26

Запитання для самоконтролю 28

Розділ 1. ЕКОЛОГІЯ ПОПУЛЯЦІЙ ТА УГРУПОВАНЬ (*Литвак П.В.*) 29

1.1. Популяції 29
1.2. Угруповання 32

Запитання для самоконтролю 34

Розділ 2. АГРОЕКОСИСТЕМА (*Смаглій О.Ф.*) 35

2.1. Поняття про агроекомистему 35
2.2. Рівні організації та типи агроекосистем 37
2.3. Екологічні чинники агроекосистем 44
2.4. Природні ресурси 64
2.5. Природно-ресурсна характеристика основних агроекосистем України 66
2.6. Найважливіші екологічні закони, що стосуються агроекосистем 79

Запитання для самоконтролю 86

Р о з д і л 3. АГРОФІТОЦЕНОЗ ТА ЗООЦЕНОЗ
(*Смаглій О.Ф., Литвак П.В., Дідора В.Г.*) 87

3.1. Основні відомості про агрофітоценоз 87
3.2. Видовий склад і просторово-часова організація агрофітоценозу 89
3.3. Еколого-фітобіологічні особливості основних сільськогосподарських культур і бур'янів 97
3.4. Систематика бур'янів 105
3.5. Зооценоз 107
3.6. Основні групи та видовий склад тваринних організмів 108
3.7. Стадо сільськогосподарських тварин і його вплив на пасовищний фітоценоз 116
3.8. Вплив тваринництва на навколишнє середовище 118
3.9. Фермський біогеоценоз (екосистема) 120
3.10. Адаптивні реакції тваринних організмів 121
3.11. Внутрішньопопуляційні та міжвидові відносини між тваринними організмами 123

Запитання для самоконтролю 124

Р о з д і л 4. ҐРУНТ
(*Кардашов А.Т.*) 125

4.1. Ґрунт — базова складова агроекосистеми. Полікомпонентна і поліфункціональна системи 125
4.2. Чинники ґрунтотворення 128
4.3. Родючість ґрунту — важливий чинник функціонування агроекосистеми 130
4.4. Роль мінеральної речовини ґрунту у формуванні його родючості 135
4.5. Буферність ґрунту 136
4.6. Еколого-агрохімічна оцінка ґрунту та агроекологічне групування земель 138
4.7. Ґрунтовий біотичний комплекс 145

Запитання для самоконтролю 152

Р о з д і л 5. КЛІМАТ АГРОЕКОСИСТЕМИ
(*Шудренко І.В.*) 153

5.1. Основи теорії клімату 154
5.2. Основи біокліматології 155
5.3. Кліматичні чинники 158
5.4. Режими кліматичних чинників 186
5.5. Оцінювання клімату агросфери 231

Запитання для самоконтролю 253

Розділ 6. БІОГЕОХІМІЧНІ ЦИКЛИ БІОФІЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ
(*Смаглій О.Ф., Литвак П.В.*) 254

6.1. Загальні особливості біологічного та біогеохімічного колообігів біогенних елементів в агроекоценозах 257
6.2. Ґрунт — сполучна ланка колообігів елементів 259
6.3. Колообіг вуглецю 260
6.4. Колообіг кисню 262
6.5. Фотосинтез 264
6.6. Роль детритно-гумусового та біотичного комплексів ґрунту в колообігах вуглецю і кисню 270
6.7. Колообіг азоту 272
6.8. Баланс азоту в ґрунті 275
6.9. Колообіг фосфору 282
6.10. Колообіг сірки 286
6.11. Колообіг кальцію, калію, магнію і натрію 287

Запитання для самоконтролю 291

Розділ 7. ЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА АГРОЕКОСИСТЕМИ
(*Смаглій О.Ф., Кардашов А.Т., Рибак М.Ф., Шудренко І.В.*) 292

7.1. Життя як термодинамічний процес 294
7.2. Енергетика ґрунтотворення 296
7.3. Термодинаміка агроекосистеми 310
7.4. Енергія в інтенсивному землеробстві 315
7.5. Енергетичний бюджет (баланс) тварин 336
7.6. Еколого-технологічна оцінка енергетичного балансу вирощування сільськогосподарських тварин 339

Запитання для самоконтролю 345

Розділ 8. МЕЛІОРАТИВНА АГРОЕКОЛОГІЯ
(*Смаглій О.Ф., Дідора В.Г.*) 346

8.1. Еколого-технологічні основи осушувальних меліорацій 350
8.2. Визначення проектних параметрів гончарного дренажу 358
8.3. Агроекологічні проблеми інтенсивного землеробства на осушених землях 359
8.4. Еколого-технологічні основи зрошення сільськогосподарських культур 368
8.5. Вапнування ґрунтів 373
8.6. Агролісомеліорація 376
8.7. Оптимізація землекористування 378

Запитання для самоконтролю 386

Р о з д і л 9. ДИНАМІКА, РОЗВИТОК ТА СТІЙКІСТЬ АГРОЕКОСИСТЕМИ
(*Кардашов А.Т.*) 387

9.1. Загальні поняття про динаміку та стійкість агроекосистеми 388
9.2. Причини та наслідки порушення стійкості агроекосистеми 392
9.3. Стійкість агроекосистеми як основа її продуктивності 398
9.4. Техногенні та біологічні принципи інтенсифікації землеробства 402
9.5. Ерозія ґрунту і стійкість агроекосистеми 405
9.6. Землеустрій як чинник стійкості агроекосистеми 407
9.7. Структура і продуктивність агрофітоценозу як чинник стійкості агроекосистеми 411

Запитання для самоконтролю 414

Р о з д і л 10. КЕРУВАННЯ СТІЙКІСТЮ АГРОЕКОСИСТЕМИ. МІНІМІЗАЦІЯ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ — МЕТОД ЗАПОБІГАННЯ НАДМІРНІЙ МІНЕРАЛІЗАЦІЇ ГУМУСУ
(*Талько С.М.*) 415

10.1. Напрями мінімізації обробітку ґрунту 417
10.2. Ґрунтообробні знаряддя та технології, їх екологічна оцінка 419
10.3. Шляхи збільшення ресурсу органічної речовини ґрунту 422
10.4. Азотні добрива та бобові рослини — чинники ефективності гуміфікації 424
10.5. Вермикомпостування: оцінка ефективності, технологія та перспективи застосування біогумусу 425
10.6. Система удобрення — основа підтримання балансу біогенних елементів 434
10.7. Оптимізація живлення рослин 440
10.8. Хімічні меліорації: види, значення, основи технології 446
10.9. Захист ґрунту від ерозії — метод збереження його енергопотенціалу 456
10.10. Ґрунтозахисна контурно-меліоративна система землеробства. Поняття, основні ланки 460
10.11. Еколого-технологічні групи орних земель 460
10.12. Агролісомеліорація — основа системи протиерозійних заходів 461
10.13. Групи захисних лісових насаджень на сільськогосподарських землях 462
10.14. Ґрунтозахисні властивості рослин 467
10.15. Ґрунтозахисні сівозміни 468
10.16. Залуження земельних ділянок 472

10.17. Способи та прийоми ґрунтозахисного консерваційного обробітку 474
10.18. Системи ґрунтозахисного обробітку 475
10.19. Ґрунтозахисна техніка 477
10.20. Застосування структуротворних та захисних стабілізаційних синтетичних препаратів 479
Запитання для самоконтролю 481

Р о з д і л 11. БІОТИЧНІ ВІДНОСИНИ В АГРОЕКОСИСТЕМІ (*Радько В.Г., Дема В.М.*) 482

11.1. Сорт (гібрид) як чинник конкурентоспроможності рослин 483
11.2. Організаційно-технологічні заходи регулювання біотичних відносин в агроекосистемі 485
Запитання для самоконтролю 493

Р о з д і л 12. ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ АГРОЕКОСИСТЕМИ (*Храпійчук П.П.*) 494

12.1. Значення сівозміни як структурної основи агроекосистеми 494
12.2. Класифікація сівозмін 496
12.3. Сорт як чинник підвищення продуктивності і стійкості агроекосистеми 499
12.4. Оптимізація архітектоніки рослинного покриву 501
12.5. Синхронізація оптимальних умов середовища і продукційного циклу 505
12.6. Удобрення сільськогосподарських культур 506
12.7. Порода свійських тварин як чинник підвищення продуктивності та стійкості агроекосистеми 509
12.8. Лучні біоценози, їх роль в оптимізації просторово-часової структури стада 511
Запитання для самоконтролю 514

Р о з д і л 13. ОБМЕЖЕННЯ ШКІДЛИВОГО АГРОТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ (*Шудренко І.В.*) 515

13.1. Зменшення пестицидного навантаження 515
13.2. Раціональне використання агрохімікатів 532
13.3. Маловідходні і безвідходні технології 543
13.4. Мінімізація негативного впливу техніки 552
13.5. Точне землеробство 558
Запитання для самоконтролю 560

Розділ 14. ЗМЕНШЕННЯ НАСЛІДКІВ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ І ДЕГРАДАЦІЇ ҐРУНТУ
(*Смаглій О.Ф., Малиновський А.С.*) 562

14.1. Іонізуюче випромінювання як екологічний чинник у сфері сільськогосподарського виробництва 562
14.2. Фітотоксичність важких металів, шляхи їх надходження у ґрунт 604
14.3. Рекультивація земель 607
Запитання для самоконтролю 609

Розділ 15. БІОЛОГІЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, БІОТЕХНОЛОГІЇ
(*Смаглій О.Ф., Шудренко І.В.*) 610

15.1. Передумови, завдання і принципові особливості 610
15.2. Основні різновиди (системи) біологічного землеробства 614
15.3. Ефективність і перспективи біологічного землеробства 617
15.4. Біотехнології в землеробстві і тваринництві 623
Запитання для самоконтролю 624

Розділ 16. ОСНОВИ АГРОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ
(*Радько В.Г.*) 625

16.1. Моніторингова система спостережень навколишнього середовища в Україні 625
16.2. Агроекологічний моніторинг у системі землеробства 628
16.3. Основи екологічної експертизи 651
Запитання для самоконтролю 661
Список рекомендованої літератури 662

Навчальне видання

Смаглій Олександр Феодосійович
Кардашов Анатолій Тихонович
Литвак Петро Венедиктович
Малиновський Антон Станіславович
Радько Віктор Григорович
Рибак Микола Федорович
Талько Станіслав Михайлович
Храпійчук Петро Павлович
Шудренко Ігор Володимирович
Дідора Віктор Григорович
Дема Валентина Михайлівна



Навчальний посібник

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів

Оправа і титул художника *В. С. Жиборовського*
Комп'ютерна верстка *Л. М. Кіпріянової*

Видавництво «Вища освіта»,
04119, Київ-119, вул. Сім'ї Хохлових, 15

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру
суб'єкта видавничої справи ДК № 662 від 06.11.2001

Підписано до друку 10.05.06 р. Формат 60 × 84/16.
Папір офс. № 1. Гарнітура Century Schoolbook. Друк офс.
Ум.-друк. арк. 39,06. Обл.-вид. арк. 45,15.
Зам.

Надруковано з плівок, виготовлених у видавництві «Вища освіта»,
на ВАТ «Білоцерківська книжкова фабрика»,
09117, м. Біла Церква, вул. Л. Курбаса, 4

Узагальнено і систематизовано фактичний науково-практичний матеріал з агроекології. Висвітлено її завдання, методологію, вплив забруднення повітря, води і ґрунту на людей, тварин та сільськогосподарські культури. Запропоновано заходи щодо збереження ґрунтового покриву, екологічно обґрунтованого підходу до хімізації сільськогосподарського виробництва, меліорації земель, ведення біологічного землеробства з метою отримання екологічно чистої продукції. Значну увагу приділено веденню сільськогосподарського виробництва в умовах радіоактивного забруднення території.