

**С.В.Будник**

**МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ  
АГРОЛАНДШАФТНЫХ  
КОМПЛЕКСОВ**

Житомир 2013

ББК30.10Ц

Б90

УДК 633.1:911.2

**Будник С.В. Моделирование функционирования агроландшафтных комплексов.- Житомир: 2013.- 481 с.**

В работе в комплексе рассматриваются различные стороны функционирования агроландшафтов, такие как динамика, устойчивость, оптимальность и т.п. и условия, обеспечивающие их функционирование как природно-антропогенных объектов: почвы, климат, энтомофауна, структура и состав растительных сообществ. Приводятся модели, описывающие взаимосвязи между компонентами агроландшафта и факторами, обеспечивающими его функционирование. Основной акцент поставлен на построение балансовых взаимосвязей в агроландшафте и их использование в оптимизации природно-антропогенных систем.

Монография предназначена для научных работников, аспирантов, студентов, интересующихся проблемами построения высоко продуктивных и устойчивых природно-антропогенных комплексов.

**Буднік С.В. Моделювання функціонування агроландшафтних комплексів.- Житомир: 2013.- 481 с.**

У роботі в комплексі розглядаються різні сторони функціонування агроландшафтів, такі як динаміка, стійкість, оптимальність і т.п. і умови, що забезпечують їх функціонування як природно-антропогенних об'єктів: ґрунти, клімат, ентомофауна, структура й склад рослинних співтовариств. Приводяться моделі, що описують взаємозв'язки між компонентами агроландшафту й факторами, що забезпечують його функціонування. Основний акцент поставлений на побудову балансових взаємозв'язків в агроландшафті і їх використання в оптимізації природно-антропогенних систем.

Монографія призначена для науковців, аспірантів, студентів, що цікавляться проблемами побудови високо продуктивних і стійких природно-антропогенних комплексів.

**Budnik S.V. Modelling of functioning agrolandscapes complexes.-Zhitomir: 2013.- 481 p.**

In work in a complex the various parties of functioning agrolandscapes, such as dynamics, stability, an optimality, etc. and the conditions providing their functioning as nature-anthropogenous objects are considered: ground, a climate, entomofauna, structure and structure of vegetative communities. The models describing interrelations between components agrolandscapes and are resulted by the factors providing its functioning. The basic accent is put on construction of balance interrelations in agrolandscape and their use in optimization of nature-anthropogenous systems.

The monography is intended for science officers, post-graduate students, the students, were interested by problems of construction of highly productive and steady nature-anthropogenous complexes.

**Рецензенты:**

**Тарарико А.Г.** – главный научный сотрудник института агроэкологии и природопользования НААН, академик НААН, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

**Лисецкий Ф.Н.** – профессор кафедры природопользования и земельного кадастра Белгородского государственного национального исследовательского университета, директор Федерально-регионального центра аэрокосмического и наземного мониторинга объектов и природных ресурсов, доктор географических наук.

**Моисенко В.В.** – заведующая кафедры растениеводства Житомирского национального агроэкологического университета, доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

**Дмитренко В.П.** заведующий отделом агрометеорологических исследований Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, доктор географических наук, профессор.

*Утверждена к печати Ученым советом Житомирского национального агроэкологического университета протокол №9 от 22.05.2013 г.*

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
Введение.....	5
Глава 1. Структура природно-антропогенных комплексов и основы их моделирования.....	8
1.1. Структура и принципы функционирования природно-антропогенных комплексов.....	8
1.2. Природа и человек. Модели природы как основа прогресса и благосостояния человечества.....	18
1.2.1. История развития направления.....	18
1.2.2. Методологическая основа создания моделей природных комплексов.....	22
1.2.3. Математический аппарат описания функционирования моделей природных комплексов.....	28
1.2.4. Оптимизация как процедура исследования.....	29
1.3. Устойчивость природно-антропогенных комплексов.....	30
1.3.1. Устойчивость природной среды.....	30
1.3.2. Устойчивость сельскохозяйственных ландшафтов.....	38
1.4. Оптимизация как аппарат создания экологически устойчивых природно-антропогенных комплексов.....	43
1.5. Пространственно-временная организация агроландшафтов.....	44
1.6. Современные представления о развитии растений.....	48
Глава 2. Оценка природно-климатического потенциала территории.....	50
2.1. Свойства почв.....	50
2.2. Погодные и климатические особенности территории.....	81
2.3. Энтомофауна.....	119
2.3.1. Качественная и структурная перестройка энтомофауны современных агроландшафтов.....	119
2.3.2. Особенности миграции насекомых.....	125
2.3.3. Способы регулирования фауны полезных насекомых.....	152
2.4. Биоразнообразие, структура ареалов и устойчивость популяций.....	168
2.5. Структурность агроландшафтных комплексов.....	178
Глава 3. Балансовые взаимосвязи в природно-антропогенном комплексе.....	191
3.1. Радиационный баланс.....	191
3.2. Тепловой баланс.....	195
3.3. Водный баланс.....	198
3.3.1. Водный режим территории.....	198
3.3.2. Экологически допустимые объемы изъятия речного стока.....	205
3.3.3. Испарение.....	215
3.3.4. Почвенные влагозапасы.....	222
3.4. Взаимосвязь водного и теплового баланса.....	230
3.5. Баланс биомассы.....	232
3.7. Баланс энергии.....	282
Глава 4. Моделирование пространственно-временных взаимосвязей в	

природно-антропогенных системах.....	290
4.1. Моделирование продукционного процесса.....	290
4.1.1. Особенности задач исследования растительных сообществ	290
4.1.2. Моделирование продукционного процесса в культурных посевах.....	297
4.1.3. Моделирование продукционного процесса в травяном сообществе.....	307
4.1.4. Моделирование продукционного процесса в древесном сообществе.....	311
4.2. Многоуровенность структуры ценоза как основа оптимальности.....	321
4.3. Моделирование структуры посевных площадей.....	330
4.3.1. Основные подходы к установлению оптимального соотношения природных и природно-хозяйственных угодий.....	330
4.3.2. Севообороты.....	334
4.3.3. Моделирование севооборотов.....	342
4.4. Моделирование миграционных процессов.....	352
4.4.1. Оптимизация миграционных процессов в почве.....	353
4.4.2. Оптимизация миграции веществ и энергии по земной поверхности.....	360
4.4.3. Миграционные процессы и геохимические барьеры.....	382
4.5. Изменение климата и моделирование продукционных процессов.....	404
Глава 5. Система оптимизации агроландшафтов.....	417
5.1. Принципы оптимизации агроландшафтов.....	417
5.2. Речные бассейны, как территориальная единица при оптимизации агроландшафтов.....	418
5.3. Технология оптимизации агроландшафтов.....	420
5.4. Оптимизация водного баланса территории.....	420
Глава 6. Оптимизация агроландшафтов Степи Украины.....	423
6.1. Пространственно-временные модели функционирования агроландшафтов Степи Украины.....	423
6.1.1. Продуктивность агроценозов в зависимости от агрофизических свойств почв.....	423
6.1.2. Эмпирико-статистические взаимосвязи в агроландшафте и районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур.....	433
6.2. Оптимальные условия функционирования агроландшафтов.....	454
Заключение.....	457
Список литературы.....	459

## ВВЕДЕНИЕ

Возросшие возможности человечества по использованию и приспособлению окружающей среды для создания комфортности жизни и благоприятных условий производства требуют все большего внимания к региональным проблемам охраны природы и отношений к ней общества, взаимодействию разнообразной деятельности людей с географической средой, сохранению естественного или созданного человеком нового природного равновесия при все более возрастающей технической оснащённости общества и его воздействия на постоянно изменяющийся облик Земли.

Важнейшей задачей современности является регулирование взаимоотношений общества с природой, рациональное ее использование и охрана, понимаемая как предотвращение ущерба и нежелательных последствий от вмешательства человека, а также обоснованное прогнозирование возможных изменений всего комплекса явлений в окружающей среде и направление его по желаемому пути при осуществлении планируемых мероприятий, т.е. конструирование природно-антропогенных систем.

Среди планов развития общества и дальнейшего освоения планеты на сегодняшний день основным вопросом стоит: как прокормить всю планету не нанося вреда окружающей среде? Дж.Фоли (2012) выдвигает 5 этапов развития: 1) остановить наступление сельского хозяйства на тропические земли; 2) поднять уровень производительности фермерских хозяйств, имеющих низкую урожайность; 3) повысить глобальную эффективность использования водных ресурсов и внесения удобрений; 4) сократить потребление мяса на душу населения; 5) уменьшить количество отходов пищевого производства и потерь при сбыте и распределении продуктов. Во многих регионах Африки, Центральной Америки и Восточной Европы наблюдается существенное расхождение между возможной урожайностью и действительной, его можно снизить, если на данных территориях высаживать более качественные сорта растений, повысить качество использования удобрений и изменить систему орошения. Согласно Дж.Фоли (2012) с экономической точки зрения использование кормовых культур для производства мяса – фактор, снижающий объемы производства продовольствия на мировом рынке. Предлагается перевод животноводства на пастбищный выпас. Однако, при таком подходе обязательно возникнут проблемы экологические: переуплотнение земель, нарушение севооборотов и т.п. и экономический эффект не будет достигнут. В этой связи интересен опыт, поставленный геофизиком С.Зимовым на Северо-Восточной научной станции РАН (Черский, Саха-Якутия) согласно которому предполагается, что вытаптывание и выборочное поедание мхов крупными травоядными (зубры, лошади, овцебыки) превратит тундру в луговую степь и будут способствовать решению проблемы с продовольствием. Среди проблем по эксперименту называются обеспечение замкнутости цикла: наличие хищников для естественной регуляции численности и деструкторы – для возвращения питательных элементов в почву (А.Журавлев, 2012).

Решение поставленных проблем не может быть односложным, оно возможно лишь при комплексном подходе с учетом наработок в различных отраслях знаний, определяющих как сами воздействия на окружающую среду, так и реакцию среды на антропогенное воздействие. Современное развитие науки предоставляет значительный объем накопленных знаний и материалов наблюдений, позволяющий смоделировать развитие процессов взаимодействия природы и общества в разных пространственно-временных масштабах. Объединение их в различных моделях широко используется для решения конкретных научных задач. К примеру, такие широко известные модели как RZWQM, GLEAMS, DSSAT, EPIC, SPUR, SWAT, SWAP, WEPP и др. используются как при прогнозировании урожая, так и паводков и т.п.

В предлагаемой работе собраны разнообразные сведения об особенностях функционирования и взаимодействия различных составляющих агроландшафтных комплексов, позволяющие обеспечить параметры и ограничения различных моделей, описывающих их функционирование, а также предлагается методика оптимизации функционирования природно-антропогенных систем, позволяющая учесть многообразие взаимосвязей в них.

Под оптимизацией природной среды подразумевается комплекс мер по рациональному использованию естественных ресурсов, охране, оздоровлению и обогащению природного окружения человека.

Рациональное использование подразумевает активное регулирование, как природных процессов, так и процессов взаимодействия природы и общества, а также защиту от техногенных нагрузок в разных формах.

Цель оптимизации заключается в нахождении сбалансированного отношения между эксплуатацией, консервацией и мелиорацией природной среды.

В этом деле не может быть шаблона: подход должен быть строго географически дифференцированным в зависимости, прежде всего, от специфики самих географических условий, от разнообразия их сочетаний и характера производственных функций.

Методологической основой прогнозирования и оптимизации в различных отраслях науки, в настоящее время, является системный подход. В задачах оптимизации состояния окружающей среды системный анализ имеет свои основные этапы (по Дж. Джефферсу, 1981):

1. Формулируются санитарно-гигиенические, эколого-экономические, социальные и др. критерии, в рамках которых можно судить о благополучном или требующем улучшения состоянии среды.

2. Локализуются цели и вопросы предстоящего системного исследования; формулируется словесная (вербально-казуальная) модель структуры и поведения системы для достижения указанных целей.

3. Реализуется синтез формальной модели: 1) определяется структура элементов; 2) идентифицируются законы их функционирования и взаимодействия; 3) определяются отклики системы (системные критерии) как результат взаимодействия элементов и внешней среды.

4. Осуществляется имитационно-игровое моделирование при различных воздействиях внешней среды и структуре элементов, по значениям критериев определяются наиболее перспективные варианты.

В оптимизации сельскохозяйственного природопользования особо важное значение имеет территориальная организация агроландшафтов. Ее задачей является рациональное (с учетом природно-территориальных условий и экономической эффективности сельскохозяйственного производства) размещение площадей различного функционального назначения и режимов использования. В результате создаются предпосылки для возрастания эффективности использования угодий, применения сельскохозяйственной техники и технологии, внедрения рациональных и экологически обоснованных систем ведения сельского хозяйства, осуществления мероприятий по повышению плодородия и охране земель.

Анализ эффективности природопользования неизбежно приводит к проблеме оптимальности принимаемых решений. В настоящее время уже накоплен значительный опыт решения оптимизационных производственных задач. Линейные модели оптимизации при долгосрочном планировании сельскохозяйственного производства используются широко. Однако лишь с недавнего времени появился опыт рассмотрения в рамках этих моделей некоторых природоохранных задач.

В настоящее время долгосрочное планирование сельскохозяйственного производства и распределение капиталовложений проводят с учетом перспективных изменений технологии и воздействий на окружающую среду. Реализация подобных расчетов – весьма сложная задача, требующая значительных затрат на сбор и обработку исходной информации.

В США проводят оптимизационные расчеты на национальном и региональном уровнях с целью анализа альтернативных путей перспективного развития аграрного сектора с применением экономических критериев (максимум чистого дохода) и с учетом влияния сельскохозяйственного производства на окружающую среду. В результате моделирования определяют структуру посевов, состав отраслей животноводства, природоохранные мероприятия, способы обработки почвы, применение минеральных и органических удобрений с учетом различных ограничений на объемы выноса загрязнений с сельскохозяйственных водосборов.

Попытки применения методов оптимизации в сложных эколого-экономических и природно-хозяйственных системах встречают серьезные трудности. Прежде всего, это трудности выбора критериев и определения характеристических коэффициентов, что отражает степень изученности предмета на настоящем этапе развития науки. Поэтому, оптимизация самих природно-антропогенных взаимосвязей в агроландшафте на практике до сих пор реализована не была.

# Глава 1. СТРУКТУРА ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ И ОСНОВЫ ИХ МОДЕЛИРОВАНИЯ

## 1.1. Структура и принципы функционирования природно-антропогенных комплексов

Сельскохозяйственная деятельность направлена на культивирование необходимых для жизнедеятельности человека растений и выращивание животных. В результате естественные биогеоценозы преобразуются в сельскохозяйственные угодья – пашню, пастбища, сенокосы, сады, огороды и иные искусственно созданные биоценозы, которые совместно с участками земной поверхности, которые они занимают, образуют агроландшафты.

Принципиальные различия между природными экосистемами и агроландшафтами заключаются в следующем (В.А.Николаев, 1987):

1) агроландшафты являются вторичными трансформированными человеком элементарными единицами биосферы;

2) это также упрощенные системы с господством популяций одного типа растений и животных;

3) неустойчивые, характеризующиеся непостоянством структуры биомассы, тогда как природные системы это сложные системы со значительным количеством видов, характеризующиеся устойчивым динамическим равновесием, которое достигается саморегуляцией; продуктивность такой системы определяется приспособительными особенностями организмов, участвующих в круговороте веществ. В агросистемах продуктивность определяется хозяйственной деятельностью и зависит от экономических и технических возможностей общества. Выращиваемая продукция используется для удовлетворения потребностей человека и животных; живое вещество некоторое время накапливается, не расходуясь: наиболее высокая продуктивность развивается лишь на короткое время, тогда как в естественной экосистеме первичная продукция используется главным образом животными и участвует в круговороте веществ; потребление происходит почти одновременно с производством. В табл.1.1 представлена сравнительная характеристика природных экосистем и агроэкосистем.

В агросистемах изменяется и интенсивность использования почв растениями. Пахотные почвы около 35-40% времени теплого периода, а на площади черного пара – еще дольше, не используются для получения сельскохозяйственной продукции; в посевах отсутствует ярусность, а густота стояния растений часто меньше возможной. По этим причинам в агроценозах, в отличие от природных фитоценозов, продуктивность почв не соответствует их плодородию, и эти понятия неравнозначны.

На сегодняшний день нет однозначного подхода к определению видов почвенного плодородия и её терминологии – выделяют природную, искусственную, потенциальную, эффективную, актуальную, экономичную и другие виды плодородия (см.Гл.2).

Природное плодородие свойственно любой почве, как природному телу. С момента, как она становится способом производства, испытывает различные



агротехнические, мелиоративные и др. воздействия, ее природное плодородие изменяется и он приобретает искусственное плодородие. Ее уровень зависит от социально-экономических условий, уровня развития продуктивных сил общества, науки и техники.

**Таблица 1.1.** Сравнительная характеристика природных экосистем и агроэкосистем (по С.И.Дерій, В.О.Ілюха, 1998)

Характер оценки	Природные экосистемы		Агроэкосистемы
	лес	луг	однолетние культуры
Источник энергии, за счет которого функционирует система	солнечная энергия, фиксирующаяся за счет фотосинтеза	солнечная энергия и умеренные энергозатраты на внесение удобрений	солнечная энергия и значительные энергозатраты на возделывание растений
Графическая структура	гетеротрофные компоненты представлены природными консументами и редуцентами и составляют 10% биомассы. В подземной части гетеротрофов значительно больше, но они составляют всего 7% от биомассы экосистемы	основной консумент – домашние животные. Если их масса превышает 10% от общей биомассы, это приводит к деградации экосистемы	Гетеротрофные организмы в наземной части представлены насекомыми, обуславливающими периодические вспышки численности. Основным потребителем фитомассы являются человек или скот
Соотношение фитомассы наземной и подземной частей	1:2	1:3...1:10	1:1...1:0,2
Значение различных частей растений в накоплении органических остатков	наземные и подземные части не принимают участие в одинаковой степени	гумус формируется в основном за счет корней	гумус формируется в основном за счет корней и пожнивных остатков
Степень замкнутости циклов кругооборота минеральных элементов	высокая, практически все элементы циркулируют по замкнутому циклу. Возможны некоторые потери за счет вывоза древесины; заготовки растительного сырья; охоты и т.п.	достаточно высокая, однако часть элементов, выносимых с урожаем, особенно при сенокосе, увеличивается	низкая, вынос веществ из экосистемы очень значителен
Возможность оттока вещества из экосистемы	низкая, но может увеличиться при нарушении цельности наземного покрова (выпас скота)	низкая, но может увеличиться при нарушении цельности наземного покрова (выпас скота)	высокая, с урожаем удаляется до 50% внесенных удобрений, вследствие эрозии теряется гумус и минеральные удобрения

Потенциальное плодородие – гипотетически возможная максимальная продуктивность сельскохозяйственных культур за счет наличия благоприятных агрономических свойств, но которая не может быть реализована в следствие лимита отдельных экологических ресурсов. Она определяется общими (валовыми) запасами питательных веществ в почве.

Итак, агроландшафты существенно отличаются от природных систем по ряду признаков. Сообщества животных и растений в агроландшафтах не используют пространство экологической ниши так полно, как в природной экосистеме. Основное различие состоит в том, что в агроландшафтах сохранение их высокой продуктивности достигается за счет дополнительного вложения определенного количества вещества и энергии (обработка почв, внесение удобрений, проведение мелиоративных мероприятий, защита растений и т.п.). Вследствие этого удельные энергозатраты в современном индустриальном сельскохозяйственном производстве, по меньшей мере, в 10 раз выше, чем в доиндустриальном сельском хозяйстве.

По уровню антропогенной преобразованности выделяются три категории агроэкосистем (Ю.А.Исаков и др., 1978):

1) агроэкосистемы, очень близкие к природным саморегулирующимся экосистемам, но отличающиеся от них слабонарушенным растительным покровом (уголья в виде залежей, естественных лугов с умеренным выпасом скота и периодическим сенокосением);

2) полуприродные, умеренно и сильно нарушенные экосистемы с частично саморегулируемым режимом функционирования (естественные и улучшенные сенокосы и пастбища);

3) сильно преобразованные, антропогенно регулируемые экосистемы (пашня, сады, однолетние и многолетние травы в севообороте, парники и т.д.

Любая агроэкосистема является составной частью ландшафта – особого природно-антропогенного территориального образования.

Согласно ГОСТ 17.8.1.02-88 под агроландшафтом следует понимать – «ландшафт, используемый для целей сельскохозяйственного производства и формирующийся и функционирующий под его влиянием».

От территориальной организации агроэкосистем, их увязки с природной составляющей агроландшафтов во многом зависит решение задач эффективного и экологически обоснованного использования земель и природных ресурсов в сельскохозяйственных целях. При этом особое значение имеет взаимосвязь планируемой пространственной структуры агроэкосистем с конкретными ландшафтными условиями. Недооценка или игнорирование указанных взаимосвязей, как показывает практика, приводит не только к существенным хозяйственным издержкам, но и к усилению деградации и истощению природной среды (эрозия почв, загрязнение поверхностных и грунтовых вод, уменьшение природно-ресурсного и эстетического потенциала ландшафтов). Поэтому важнейшее направление экологизации агропромышленного комплекса заключается в создании агроландшафтов с оптимальным пространственно-временным сочетанием агроэкосистем и природных экосистем, обеспечивающих и максимально стабильный

высококачественный урожай сельскохозяйственных культур, а также малоотходность и безотходность используемых средств производства. В табл.1.2 представлено сравнение фитоценоза луговой степи с агроценозом пшеницы.

При оптимизации территориального размещения агроэкосистем в ландшафтах, а также выбора путей их использования в первую очередь следует исходить из общих закономерностей взаимодействия сельского хозяйства и природной среды.

Влияние сельскохозяйственной деятельности на ландшафты осуществляется главным образом по следующим четырем направлениям (В.М.Яцухно, Ю.Э.Мандер, 1995):

- 1) пространственная и функциональная перестройка ландшафтной структуры и её отдельных компонентов;
- 2) изъятие части биологической продукции;
- 3) привнесение в ландшафт вещества и энергии;
- 4) создание инженерно-технических сооружений и применение механизированных технологий.

Результатом такого рода воздействий на природную среду является ряд последствий, которые сказываются на ресурсно-воспроизводящей функции ландшафта как природно-территориальной системы. К числу положительных последствий относится рациональное вмешательство в вещественно-энергетический круговорот агроэкосистем с целью повышения продуктивности и обеспечения высокого уровня их организации. Негативные последствия связаны с неблагоприятными изменениями структурно-функциональных свойств агроландшафтов за счет несбалансированного внесения удобрений, развития эрозионных процессов, чрезмерного уплотнения почв и т.д. Они проявляются не только в снижении продуктивности агроландшафтов, но и в нарушении их внутренних и внешних связей, резком уменьшении ресурсного потенциала сельскохозяйственных территорий.

Трансформационное воздействие сельскохозяйственной деятельности на окружающую среду осуществляется в двух направлениях – целенаправленном и косвенном.

Целенаправленное воздействие обусловлено необходимостью выполнения агропроизводственных процессов, без которых невозможно успешное функционирование сельского хозяйства. Оно включает систему агротехнических приемов по обработке почв, мелиоративное преобразование земель, различные организационно-хозяйственные мероприятия.

Косвенное же воздействие имеет место при проведении необходимых производственных процессов и вызывает, как правило, неблагоприятные для природной среды явления (уплотнение почв при движении почвообрабатывающих машин и орудий, чрезмерное загрязнение почв и вод при внесении удобрений и функционировании животноводческих комплексов и т.п.). Нейтрализации отрицательных последствий трансформационного воздействия сельскохозяйственной деятельности на природу способствует строгая технологическая регламентация производственных процессов,

**Таблица 1.2.** Особенности структуры фитоценоза и агроценоза на черноземах обыкновенных Барабы (по Н.Т.Шатохиной, 1979)

Луговая степь	Агроценоз пшеницы
Наиболее сформированное растительное сообщество, соответствующее состоянию климатика	Не сформированное растительное сообщество
Высокая видовая насыщенность (до 40 шт. на 25 м <sup>2</sup> )	практически монодоминанное сообщество
4-х ярусное строение	Одноярусность
Разнообразие биологических, экологических и фенологических групп ценозов обеспечивают заполнение пространственных и экологических ниш и наиболее полное использование экотопа	Растения одного ритма развития
В образовании продукции участвуют травянистые многолетники – злаки, бобовые, разнотравье, осоки (степные) весеннего, ранневесеннего, летнего и позднелетнего циклов развития.	
Общие запасы растительного вещества в 2 раза превосходят таковые в агроценозе	
В подземной сфере сосредоточено в 2,5 раза больше растительного вещества, чем в агроценозе	
Живые функционирующие корни составляют более половины (53-66% от общих запасов подземной массы)	Живые корни составляют 20-25% общих запасов подземной массы
	Величина максимальных запасов надземной фитомассы значительно выше, чем в степи, ее колебания существеннее
Фитомасса присутствует круглогодично	Фитомасса присутствует лишь в течение 80-90 дней
Наличие подстилки и ветоши в течение всего времени, что смягчает гидротермический режим почвы и является аккумулятором органического вещества	Почва длительное время открыта, растительное вещество отмирает лишь в конце сезона
В неблагоприятные годы продуктивность компенсируется за счет наличия разных по экологии и фенологии растений, широкому пределу толерантности природных видов-многолетников	В неблагоприятные годы компенсация продуктивности идет только за счет изменения кустистости, озерненности и т.п., т.е. за счет внутренних механизмов регенерации растений
Благодаря функционированию разных по длительности вегетации и ритмам развития растений создание и отмирание органического вещества происходит в течение всего вегетационного периода практически параллельно	В монодоминантном агроценозе процессы формирования и отмирания фитомассы разделены во времени: до начала созревания зерна преобладает синтез, в течение созревания – отмирание и разложение
Ведущие элементы: Si, Ca, N	Ведущие элементы: Si, N, K
Интенсивность биологического круговорота в 2,5 раза выше, чем в агроценозе	

связанная в первую очередь с учетом устойчивости ландшафтов, которая определяется свойствами почв, особенностями рельефа, структурой и использованием земельных угодий.

Весь опыт человечества свидетельствует о том, что неудачи и просчеты природопользования проистекают от незнания или намеренного игнорирования взаимосвязи и взаимообусловленности её отдельных частей, т.е. причина неудач - отсутствие комплексности и преобладание отраслевого подхода к природе, как в хозяйственной практике, так и в научных исследованиях.

Водный и солевой баланс любой территории во многом зависит от процессов, протекающих на водосборе от характера самой поверхности. Поскольку большая часть поверхности Украины распахана то основной разновидностью ландшафтов здесь является агроландшафт (рис.1.1), представляющий собой комплекс природных и антропогенных составляющих основной производственной функцией, которых является производство сельскохозяйственной продукции.

Антропогенная «нагрузка» создает определенный «шум» в естественном направлении развития, влияя на скорости и направления некоторых реакций. Если энергия «шума» не превышает энергию естественных флуктуаций, то ландшафт продолжает развиваться по своим законам, причем результаты этого развития могут не совпадать с нашими понятиями о полезности. Поэтому сказать о том, что ландшафт деградирует можно только после тщательной проверки направленности его естественных процессов, чтобы не принять развитие за деградацию.

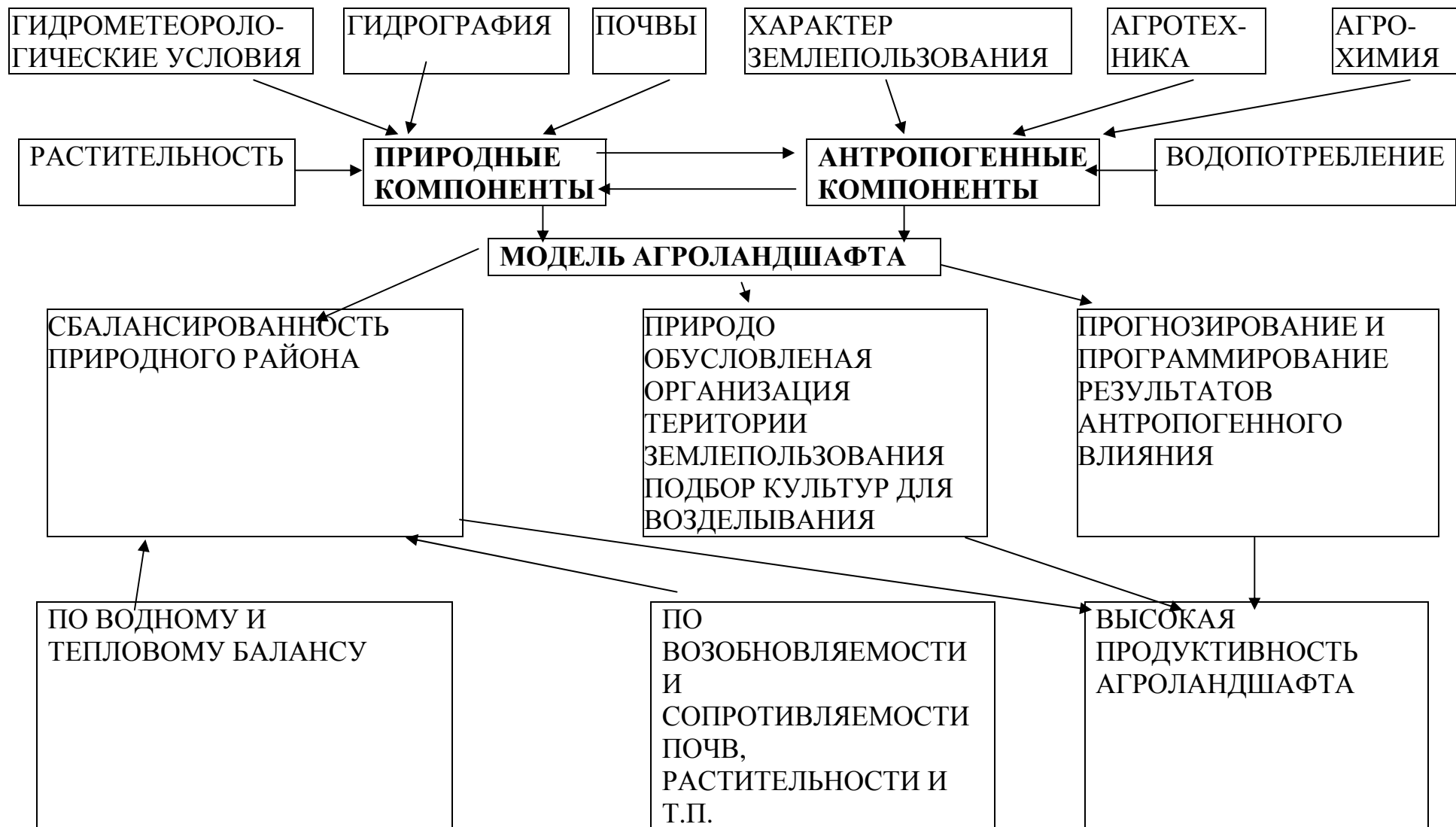
На рис.1.2 представлена схема функционирования модели агроландшафта. Входными функциями в модели являются природные и антропогенные характеристики, которые модель преобразует с целью выявления параметров сбалансированности природного района, обеспечения предсказуемости и программирования результатов антропогенного воздействия и природообусловленной организации территории землепользования, подбора культур для возделывания и т.п.

Для обеспечения столь широкого диапазона активности, модель должна состоять из нескольких целевых функций, обеспечивающих оптимальность перечисленных функционалов модели, опираясь на наиболее характерные процессы, обуславливающие их действие, т.е. здесь должен быть задействован целый спектр моделей и процессов. Так, исходя из принципов функционирования агроландшафтов, их функциональная модель должна состоять из четырех оптимизационных блоков: 1) сток воды; 2) сток наносов; 3) ионный сток; 4) урожайность сельскохозяйственных культур (рис.1.3).

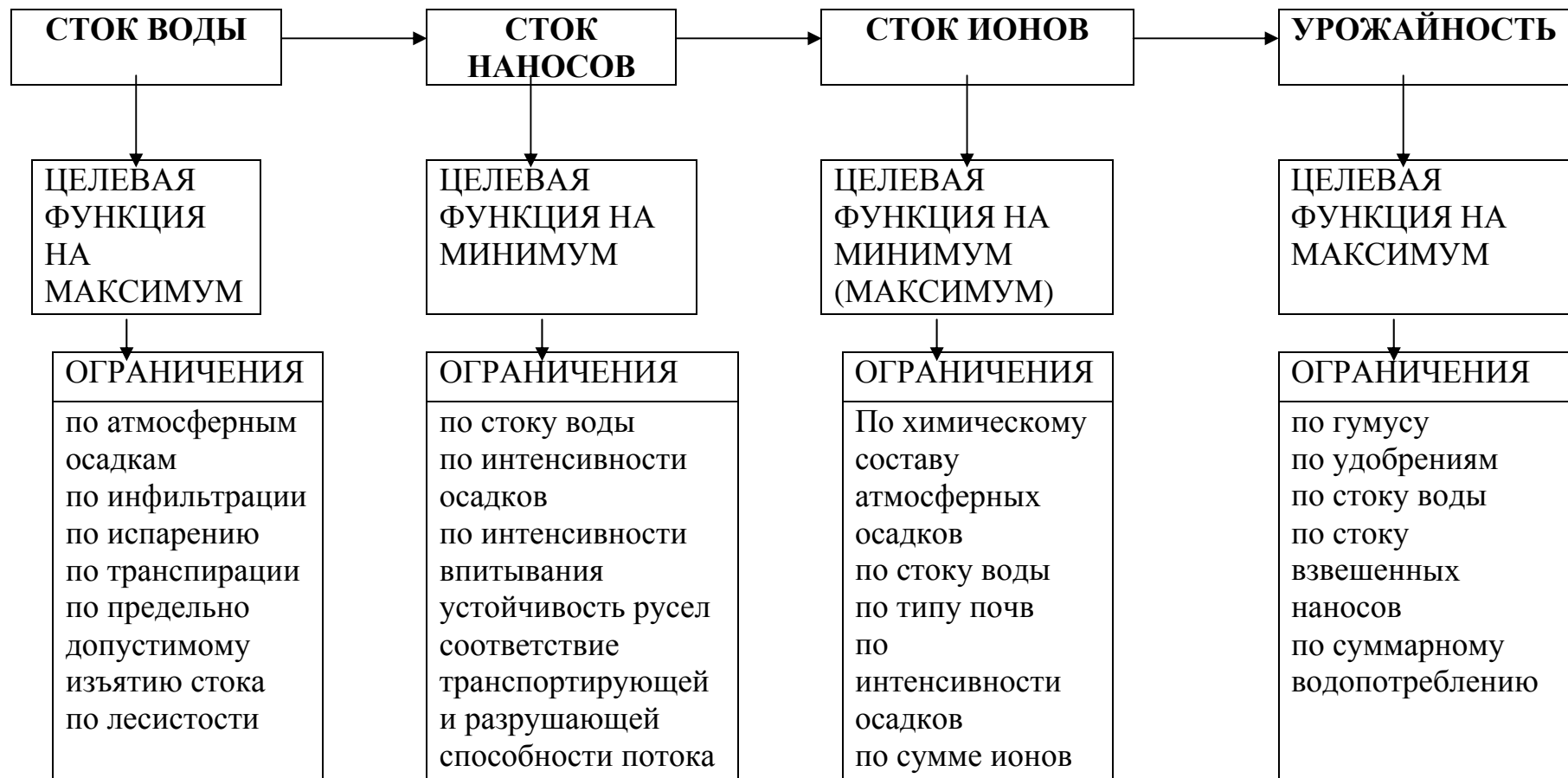
Каждый оптимизационный блок состоит из целевой функции и системы ограничений. Система ограничений включает в себе условия сбалансированности и программируемости, т.к. изменение условий изменяет значения переменных и величину целевой функции. Ограничения представляют собой уровни «меры» при переходе через которые, количество переходит в качество. Как видно, в развитии и целенаправленном функционировании немаловажную роль играют потоки вещества и энергии, а среди них сток



**Рис. 1.1. Структурное подразделение ландшафтных комплексов**



**Рис. 1.2. СХЕМА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОДЕЛИ АГРОЛАНДШАФТА**



**Рис.1.3. СХЕМА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ АГРОЛАНДШАФТА**



воды и наносов, первичным звеном которых является эрозия почв.

Особенности конструирования, управления сельскохозяйственными угодьями определяется (А.С.Шпаков, И.А.Трофимов, 2002): двойственной природно-производственной сущностью агрогеоэкосистем, наличием в ней трех подсистем (абиогенной, биогенной и антропогенной); особой ролью блока управления и мониторинга; наличием трех видов связей (вещественно-энергетической, информационной, управления); двух основных функций агрогеоэкосистем (продукционной и средообразующей); способностью ответных реакций агрогеоэкосистем на антропогенные воздействия; а также их характерной открытостью и динамичностью.

На базе агрогеосистемного подхода выдвинуты принципы агроландшафтно-экологического изучения конструирования агрогеоэкосистем и агроландшафтов (А.С.Шпаков, И.А.Трофимов, 2002): системности, эмергентности, ландшафтных границ, экологического каркаса агроландшафта, ландшафтно-экологического баланса, оптимального функционирования агрогеоэкосистем, многоуровневой и многофакторной адаптации, агроландшафтного управления, эволюционно-аналоговый, биоразнообразия, экологизации сельского хозяйства, практической и экологической целесообразности.

Принцип системности – адекватное отражение агрогеоэкосистемной сущности сельскохозяйственных земель.

Принцип эмергентности – учет наличия у системного целого особых свойств, не присущих его подсистемам, блокам и компонентам, не объединенным системообразующими связями; учет особой формы интеграции системы, подчиняющейся иным законам конструирования и управления, функционирования и эволюции.

Принцип ландшафтных границ - осуществление землепользования и землеустройства с максимальным учетом границ ландшафтов (агроландшафтов) – реально существующих природно-сельскохозяйственных территориальных комплексов.

Принцип экологического каркаса агроландшафта – природные кормовые угодья, многолетние насаждения и посевы многолетних трав на пашне – важнейшие элементы и составная часть экологического каркаса агроландшафта, определяющие его устойчивость.

Принцип ландшафтно-экологического баланса – поддержание равновесия между средостабилизирующими и средонарушающими элементами структуры агроландшафта для обеспечения его устойчивости.

Принцип оптимального функционирования агрогеоэкосистем – ориентация управления и конструирования агрогеоэкосистем на оптимальное соотношение их продукционной, средообразующей и природоохранной функций.

Принцип многоуровневой и многофакторной адаптации – адаптивная интенсификация производства на разных уровнях (организационном,

популяционном, ценотическом, ландшафтном и биосферном), охватывая все уровни и стороны (факторы) изучаемых объектов.

Принцип агроландшафтного управления – конструирование и управление агроэкосистемами неотъемлемая часть конструирования и управления агроландшафтами (агрогеосистемами регионального уровня).

Принцип эволюционно-аналоговый – организация управления агроэкосистемами и конструирования агроландшафтов на многократно апробированный опыт природы и подражание ей, оптимальное использование благоприятных природных особенностей агроэкосистем.

Принцип биоразнообразия – ориентация управления и конструирования агрогеоэкосистем на их максимальное биоразнообразие, как реальный механизм обеспечения их надежности и стабильности.

Принцип экологизации сельскохозяйственного производства – использование экологической информации о состоянии агроландшафтов для адаптивного управления природными кормовыми угодьями и посевами; ориентация управления агрогеосистемами на укрепление экологического каркаса агроландшафтов, решение ключевых экологических проблем и устранение причин, их вызывающих.

Принцип практической и экономической целесообразности – получение необходимых результатов при минимуме затрат.

## **1.2. Природа и человек. Модели природы как основа прогресса и благосостояния человечества**

### **1.2.1. История развития направления**

Развитие человеческого общества создает определенные предпосылки для развития и реализации научных открытий и поисков. Стремление к истине постоянно подталкивается насущной потребностью практики, неудовлетворенностью возрастающих потребностей общества.

Жизнедеятельность человека во многом зависит от того, в какой географической и экологической среде он находится. Она определяет основные сферы деятельности людей, однако и все возрастающая деятельность человека влияет на окружающую среду видоизменяя ее и создавая зачастую не свойственные данным климатическим и геологическим факторам условия вызывающие экологические кризисы.

Дифференциация условий среды интересовала естествоиспытателей издавна. Наблюдения указывали также, что отличия условий среды обитания коррелируют с различиями видового состава растений и животных (П.Троян, 1988). Это положение нашло отражение в первых классификациях живого мира, сделанных Аристотелем (384-322 гг. до н.э.). Экологическая классификация растений, произведенная его учеником Теофрастом (372-287 гг. до н.э.) была признана Т.Lgreen (1909) первой попыткой выделить естественные ассоциации растений. Особенно близкой современным взглядам на ассоциации растений является сделанная Теофрастом классификация экологических групп водных растений: 1)

растения морских вод, 2) морские прибрежные растения, 3) глубоководные растения пресных водоемов, 4) прибрежные растения, 5) растения влажных берегов рек, 6) болотные растения. Теофраст описал также влияние условий среды на распространение растений и потребительскую ценность древесины, происходящей из разных биотопов.

В работах Плиния Старшего (23-79 гг. н.э.) была принята аристотелевская классификация животных, согласно которой животный мир подразделяется на три большие группы, различающиеся по среде обитания: 1) водные животные, 2) животные суши, 3) летающие животные. Дальнейшее подразделение выделенных групп также основано на особенностях экологии.

В эпоху средневековья мысль о связях особенностей организации с характером окружающей среды была высказана, прежде всего, в работах Альберта Великого (1193-1280), который обратил внимание на зависимость качества древесины дерева от места его произрастания. Валериус Кордус (1515-1544) был первым из ботаников, который попытался связать распространение растений с минералогическими и химическими особенностями почвы.

Первые эксперименты, касающиеся влияния атмосферного давления на организмы, провел известный химик Р.Бойль (1621-1691). В изобретенной им вакуумной камере Бойль испытывал действие пониженного давления на разных животных.

Особое место среди естествоиспытателей, работавших в конце XVII-начале XVIII вв. занимает французский ученый Р.Реомир (1683-1757 гг.) – создатель одной из термометрических шкал. Кроме того, он положил начало биоклиматическим исследованиям культурных растений. В работе (1735 г.), посвященной термометрическим измерениям, он установил, что сумма дневных температур воздуха, измеренных в тени, постоянна для определенных фенологических периодов (биологических времен года). Это явление, называемое суммой эффективных температур, составляет до сих пор важный раздел биоклиматических исследований.

В середине XIX в. был сконструирован первый пиранометр, который позволил измерять количество солнечного излучения. В тот же период благодаря изучению различных элементов в почве на развитие растений Ю.Либихом (1841 г.) был сформулирован так называемый закон минимума, который просуществовал как основной аутоэкологический закон до второй половины XX в. Развитие данного подхода было осуществлено в XX в. В.Е.Шелфордом, который сформулировал принцип экологической толерантности. Дальнейшие исследования выявили, прежде всего, комплексность воздействия факторов среды на реализацию принципа толерантности.

Развитие экологии началось с изучения и описания природы. Это был период, когда француз Жан Анри Фабер написал известный труд «Энтомологические воспоминания» (1870-1879). Между тем настоящее развитие экологии началось с изучения среды, в которой обитают

отдельные виды, с изучения их отношений, симбиоза, отношений с другими видами. Это первая фаза в развитии экологии. Исследования в середине 20-х годов подходят к изучению объединений видов - развивается синэкология, т.е. экология объединения (сообщества) вида. В процессе изучения открываются законы динамики популяции связанных между собой групп видов. Но развитие исследований показало, что экологии недостает основных единиц изучения (подобно атому в физике или клетчатке в гистологии). Поэтому появилось понятие экосистемы как единицы экологии.

Экосистему как термин впервые употребил Артур Джорж Тенсли в 1935 г. Позже, в 1942 г., Реймонд Линдеммон выдвигает концептуальные и методологические основы изучения экосистемы, как сложной системы, через которую пропускают ток энергии и цикл питания через все живые и неживые ее компоненты. По сути, экосистема понимается, как система, ясно обозначенная в пространстве и во времени, она охватывает не только организмы, живущие в ней, но и физические условия климата и почвы, равно, как и все взаимные действия между разными организмами и между организмами и физическими условиями.

Концепцию ландшафта впервые научно сформулировал Л.С.Берг в 30-тые годы, а в 50-х она приобрела теоретическое обоснование. В дальнейшем экология и ландшафтоведение развивались синхронно. Общий объект анализа (полигеокомпонентные природные системы), близость базовых концепций (гео- и экосистемы), общие принципиальные научные задания (познание взаимодействий компонентов природы между собой и с человеком), подобие многих методов исследований способствовали объединению экологии и ландшафтоведения в смежную дисциплину – ландшафтную экологию.

Немецкий географ Карл Троль в 1939 г впервые ввел термин «ландшафтная экология», он понимал под ним объединение ландшафтно-пространственного анализа и исследование взаимосвязей между природными компонентами, которые наблюдаются в пределах элементарной территориальной единицы (экотопа).

Экология и ландшафтная экология в частности стали интенсивно развиваться с конца 50-х годов, когда люди укрепились в сознании того, что не могут активно осваивать природу, не учитывая ее закономерностей, в противном случае возникает угроза существования самого человека. В сущности, экологические науки вызваны к жизни экономической деятельностью человека, которая наносит вред окружающей среде. Экологические науки начинают заниматься условиями, которым должна отвечать экономическая деятельность, определением ее границ, чтобы не было эффекта, противоположного целям. Экологический вопрос возник тогда, когда нарушение экологического равновесия стало затрагивать все общественные слои, когда среда обитания и условия жизни ухудшились вследствие индустриализации.

В послевоенные годы усилиями К.Троля идеи ландшафтной экологии значительно расширились вначале в немецкоязычных странах, а с 80-х годов и по всей Европе. Особенно обстоятельно ландшафтно-экологические (геоэкологические) исследования развивались в ГДР (Е.Нееф, Г.Хаазе, Г.Ноймайстер и др.), и Западной Германии (К.Троль, «геосинергетика» Ю.Шмитхюзена и т.д.). В концептуальной и особенно в методической основе геоэкологии немецких ученых соотношение между ландшафтным и экологическим подходами было явно в пользу первого.

Более сбалансированными выявились теоретические основы учения о геосистемах развитого В.Б.Сочава. Он понимал эту науку как результат сближения ландшафтоведения и экологии на базе системного подхода, ввел в ландшафтоведение ряд важных концепций экологии (климакс, ординации, сукцессии). Отдавая предпочтение термину «учение о геосистемах», В.Б.Сочава (1978) признавал практически полное совпадение с нею ландшафтной экологии западных географов.

Большое значение для широкого распространения и популяризации идей ландшафтной экологии среди практиков и особ, принимающих решения, были труды голландского ученого А.П.А.Винка (1968, 1983 и др.). Он считал ландшафтную экологию результатом взаимодействия географии и экологии в решении практических вопросов рациональной организации территории, регионального и местного управления. Четко высказанное А.П.А.Винком положение о ландшафтной экологии как науке прикладного направления нашло отклик у агроэкологов, биогеографов, почвоведов и других исследователей, которые, которые широко используют ландшафтно-экологические концепции и методы в своей деятельности.

С 80-х годов ландшафтно-экологические исследования значительно распространились в Европе, Северной Америке, Японии, Индии, Бразилии и других странах. Было организовано много кафедр ландшафтной экологии, изданы учебники, проведено множество международных симпозиумов и конференций, организованы международные (мировую и европейскую), ассоциации ландшафтных экологов, начали выходить периодические издания.

Требования научно-технического прогресса и общественного производства, сложное состояние природной среды многих регионов мира, в том числе и Украины, заставляют ученых искать новые пути, методы и научные направления исследований. Некоторыми из таких проблем являются рациональное природопользование, охрана окружающей среды, оптимизация природных комплексов.

Между человеком и окружающей его средой устанавливаются различные связи и отношения, которые дают возможность жить человеку как природному и общественному существу. Однако в этих связях и отношениях могут происходить изменения, угрожающие жизни человека. Поэтому на протяжении своей истории люди пытались в большей или меньшей степени установить согласие с окружающей средой, чтобы

обезопасить условия своего существования. Установление этого согласия определено степенью исторического развития общества и социальными отношениями в нем.

С быстрым развитием производительных сил с середины прошлого века не только выросло влияние человека на природу, но и усилились последствия потребительского отношения человека к природе как к чему-то стороннему, «вне чего он находится». Негативизм этих последствий особенно вырос в 60-е годы нашего века, остро проявилась связь некоторых заболеваний с индустриализацией территорий, выпадение ряда растений, не толерантных к загрязнению и т.п. Вместе с тем увеличилось и понимание людей. Постепенно созрело сознание, что люди не являются безграничными царями природы и что нарушение экологического равновесия в природе, произошедшее под влиянием человеческой деятельности по освоению природы, может привести к угрозе самой жизни на Земле. Экологические проблемы становятся предметом исследования не только естественных, но и общественных наук. Возникают движения по защите окружающей среды. Защита и формирование окружающей среды становятся предметом социологических исследований, возникает отдельная отрасль социологии – социальная экология.

### **1.2.2. Методологическая основа создания моделей природных комплексов**

Интенсивное вмешательство человека в жизнь природы в последние годы привело к возникновению идей о необходимости создания оптимальных природных образований, способных выдержать рассчитанную антропогенную нагрузку, не приводя к невозвратимым последствиям.

Под природной системой, как правило, понимают определенную сумму элементов природного происхождения, существующие связи между которыми определяют проявления природы в таких качествах и реализации ею таких функций, которые без взаимодействия элементов были бы невозможны.

Природные системы необычайно разнообразны. Среди них выделяются такие, в состав которых входят элементы со всех компонентов природной среды, а именно: массы земной коры, атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, почв, растительного, животного мира и микроорганизмов. К этому классу природных систем, которые можно назвать полигеокомпонентами, принадлежат: геосистемы, экосистемы, биоценозы. На планетарном уровне поликомпонентные системы изучают общее земледование и глобальная экология.

Большинство потребностей общества обеспечивается за счет природы, хотя геосистемы, как природные образования, совсем не предназначены обслуживать общество, они способны выполнять некоторые функции для удовлетворения его потребностей. На этом

основании в ландшафтоведение, экологию и геоэкологию введено понятие функции ландшафта (экосистемы, геосистемы). Под ней понимают общественно важную цель, которую общество достигает за счет геосистемы или с ее участием.

Общество и отдельный человек накладывают на природные геосистемы желаемые требования и именно под этими требованиями понимаются функции, которые геосистема должна выполнять. С развитием общества эти требования расширяются, и соответственно, растет число функций геосистемы. В таком понимании функция геосистемы – понятие больше антропогенное, нежели природное, противоположно от ее потенциала, который определяется природными особенностями геосистемы.

Предложено несколько вариантов типологии функций природных систем (М.Д.Гродзинский, 1993): Е.Ниманн (1977) выделяют четыре группы функций: производственные (удовлетворяют промышленное и сельскохозяйственное производства энергетическими и сырьевыми ресурсами); антропоэкологическое (определяют здоровье людей); этические и эстетические; «ландескультурные» (не достаточно четко определенная группа функций, что включает нейтрализацию отходов, самоочищение геосистем и т.п.). Ван-Дер-Маарель (1977) также выделил четыре типа функций: обеспечение сырьем и энергией; пространственную и (как арену для разных видов общественной деятельности) информационную; регуляторную. В.С.Преображенский (1980) выделил такие функции ландшафта: ресурсно-возобновляемую; средо-обновляемую (обновление условий природной среды, нарушенной антропогенными факторами); ресурсосберегающую или ресурсомещающую (сохранение ресурсов, в частности генофонда растений и животных); информационную (предоставление материала для научных исследований, воспитания и т.п.); эстетическую; функцию пространства для хозяйственной деятельности.

От функции, которую выполняет геосистема, существенно зависит ее структурные особенности и динамические тенденции (М.Д.Гродзинский, 1993). Так, генетично далекие геосистемы, выполняющие одинаковую функцию (например, аграрную), по приобретенным при этом свойствам оказываются значительно более подобными, нежели геосистемы одного вида, но разного функционального использования. Выполнение геосистемами нескольких функций, таких например, как урбанистическая, практически полностью нивелируют их первичные природные особенности. Отсюда понятно внимание, которое придают ландшафтоведы и геоэкологии классификации геосистем по выполняемым функциям. Она может основываться на типологии угодий, как это принято в США, где выделяется 1200 категорий использования земель (Р.Андерсон, 1977). Однако более оправданный подход к классификации тот, что вытекает собственно из функций геосистемы. Основываясь на этом, В.И.Тимчинский и П.Г.Шищенко (1981) предложили функциональную типологию ландшафтов (геосистем), в которой по основным функциям

геосистем выделено 12 их функциональных типов: заповедные, рекреационные, лугово-пастбищные, земледельческие, водохозяйственные, селитебные (населенных пунктов), дорожно-транспортные, промышленные, горно-промышленные, не используемые.

Геосистемы могут выполнять несколько функций. В этом случае выделяются промежуточные типы, например, заповедно-рекреационные (геосистемы национальных парков). Функциональные типы геосистем разделяются на подтипы, например, лесохозяйственные – на: эксплуатационные, защитные, резервные и так далее. Для некоторых подтипов выделяются функциональные виды геосистем, например, для защитного лесохозяйственного: почвозащитные, водоохранные, санитарные и т.п.

Функции, которые в системе установленного природопользования должна выполнять геосистема, могут (и часто так и бывает) входить в конфликт с ее природными свойствами. Это связано с тем, что по отношению к каждой функции геосистема характеризуется определенным природным потенциалом – способностью выполнять эту функцию, сохраняя при этом свою функцию, сохраняя при этом свою структуру и природные особенности.

Для принятия решений, направленных на рациональное использование, восстановление, преобразование или охрану ландшафтов, нам необходимо иметь прогноз о тенденциях направленности, последовательности и скорости их изменений, а также о причинах, их вызывающих. В настоящее время по скорости и глубине смены состояний ландшафтов ученые различают три группы изменений: в ходе их «направленного» функционирования, динамики и развития (эволюции). В ходе функционирования устойчиво от года к году происходят кратко-периодические изменения состояний ландшафтов в течение суток, сезонов года и т.п. Среднепериодические динамические смены состояний ландшафтов связаны с двумя основными группами причин. Первая из них обусловлена циклическим саморазвитием ландшафтов, вызванным, например, сменой состава его растительных сообществ в процессе восстановления уничтоженного ветром, пожаром, распашкой или иными факторами исходного коренного растительного покрова. Причины эти связаны как с процессами, протекающими в самой природе, так и в несравненно большей степени с хозяйственной деятельностью человека. Вторая группа причин обусловлена многими природными циклическими явлениями (В.А.Боков и др., 1996), как, например, ритмами солнечной активности с 11-летним, 29-летним, «вековыми» (80-90 лет) и более продолжительными циклами. С ними сложно связаны периодические изменения особенностей атмосферной циркуляции, а в след за ней распространения по Земле температур воздуха и воды в океане, уровня увлажнения территорий. В свою очередь это обуславливает колебания водности озер, рек, ледовитости полярных морей, отступления или наступления горных ледников, изменений уровня Мирового океана и т.п.



Наконец, эволюция ландшафтов – это направление, упорядоченное, поступательное их изменение, происходящее в масштабах геологического времени. Естественно, что все эти изменения протекают одновременно, в единстве, и мы стремимся их различать только для удобства изучения.

Для практических целей человечество в наибольшей степени интересуется познание прогноза динамических смен состояний ландшафтов, так как они во времени соразмерны со сменами поколений людей, отличающихся социальной организацией и уровнем развития науки и техники. Динамические изменения, естественно, подчинены эволюционным, определяющим их направленность, другими словами, их «стратегию». Познают закономерности динамических смен состояний ландшафтов с целью их прогноза. Для этого изучают текущее функционирование ландшафтов, затем сопоставляют их с составлением в прошлом по остаткам так называемых следов, которые хранятся как в самих ландшафтах, так и в археологических, исторических и других памятниках культуры людей.

В свою очередь смены динамических состояний ландшафтов выражают как результат трех основных одновременно протекающих взаимно наложенных процессов. Один из них представляет собой процесс медленного саморазвития ландшафтов, прежде всего его самого активного компонента – растительности. Два других его процесса отражают более быстро протекающие конкретные смены состояний разных ландшафтов в условиях действия двух таких основных групп внешних факторов, как новейших и современных вертикальных движений геологической основы ландшафтов, изменений климата и зависящих от них колебаний уровня Мирового океана и внутренних водоемов, так и все возрастающего воздействия на ландшафты человека.

Для создания прогностических моделей только исторических сведений и описаний явно не достаточно. Поэтому в последнее время все чаще стали предлагаться системы научно-методического экологического мониторинга ландшафтов. Основной идеей, которого является систематическое накопление и обработка измеренных показателей состояния ландшафта, таких как сток воды, наносов, осадки, почвенные характеристики, сведения о растительности, рельефе и т.п. При этом особое внимание уделяется изучению балансовых элементов изучаемой территории.

Поскольку все природные явления тесно взаимосвязаны между собой и, как правило, взаимообусловлены. Различные сочетания качественных и количественных вариантов явлений создает практически неповторимые природные образования. Действительно, ведь невозможно найти абсолютно одинаковый участок земной поверхности, растение или животное, каждый из них обладает практически уникальным набором факторов, обусловившим их появление. В тоже время расположенные в определенной природной зоне они носят в себе общие присущие данной зоне особенности: увлажненность, видовой состав растительности, окрас и

т.п. Существуют закономерности направляющие «мутации» на основе общих природных особенностей. Выявить подобные закономерности возможно путем оптимизации балансовых соотношений для данной территории.

Всестороннее изучение баланса территории позволяет увидеть целесообразность проведения различных гидротехнических или мелиоративных работ и возможные последствия таких вмешательств человека в установившиеся природные взаимосвязи.

Отличительная черта естественных, т.е. физико-географических факторов – их относительная устойчивость. Гораздо менее устойчивы антропогенные изменения. Их непостоянство связано не только с меняющимся объемом, но и с качественной перестройкой хозяйства. Например, в результате распашки степей и уничтожения лесов почва утратила высокую инфильтрационную способность, снеговые и дождевые воды стали плохо проникать в почву, увеличился поверхностный сток, возросла эрозия.

Различие естественных природных условий дает не одинаковые результаты при осуществлении одних и тех же хозяйственных мероприятий. Различный эффект одного и того же мероприятия иногда расцениваются как противоречие вызванное различными подходами или взглядами. Действительно, результаты исследования существенно зависят от примененной методики, но нельзя не учитывать и значительную роль географических и социальных особенностей в изменениях природы, вызванных хозяйственной деятельностью.

С начала 70-х годов XX столетия обострение экологической ситуации вызвало необходимость дальнейших исследований природных комплексов в целях прогнозирования и рационального использования.

Настоятельная необходимость в такого рода исследованиях в наше время объясняется главным образом четырьмя группами причин:

Во-первых, несоответствием желаемых темпов и объемов развития некоторых отраслей хозяйства с природными возможностями конкретных территорий. Это особенно проявилось в такой отрасли сельского хозяйства, как орошаемое земледелие в Аральском бассейне, где создалась катастрофическая экологическая ситуация.

Во-вторых, несоответствием серийно выпускаемой техники местным природным условиям – огромных тракторов, разрушающих почву; экскаваторов с ковшами, не позволяющих осуществлять селективное складирование вскрышных пород; поливальных машин, не обеспечивающих интенсивность дождя в зависимости от механического состава почв и вызывающих ирригационную эрозию.

В-третьих, учащением случаев аварий сооружений, что объясняется:  
а) ростом мощностей, усложнением инженерных сооружений и соответствующей реакцией природных компонентов, часто не выдерживающих увеличение техногенных нагрузок; б) ускорением и увеличением частоты некоторых технологических процессов - температур,

давлений и т.п.; в) уплотнением застройки, т.е. увеличением территориальной емкости, что можно объяснить увеличением мощностей предприятий без расширения площадей, введением цепи безотходных предприятий; г) экономическими соображениями, уже сделанными капитальными вложениями в строительство сети дорог, ЛЭП и других инженерных коммуникаций, сопутствующих главному объекту строительства.

В-четвертых: появлением новых наук, например, экологии, вернее неоэкологии и трансформацией некоторых более старых наук, например инженерной геологии, сильно расширивших сферу своих интересов.

Необходимость решения актуальных проблем взаимодействия общества и природы, проблем сохранения улучшения качества жизненной среды, рационального использования природных ресурсов и охраны природы, а также развитие представлений об объекте, изучаемом географией, обогащение методологии географии принципами системно-структурного анализа, идеями кибернетики и теории информации послужило основой развития исследований, связанных с вопросами устойчивости природных комплексов. Все это привело к выработке представлений о природно-территориальном комплексе как сложной динамической системе.

Существуют различные толкования устойчивости систем. Самое общее представление об устойчивости, как универсальном свойстве вещей, свойств и отношений, подразумевает свойство систем сохранять качественную определенность (Т.П.Куприянова, 1983).

Термин «устойчивость» пришел в географию из техники и первые аналогии, первые модели были связаны с учением о сопротивлении материалов. На первых порах были сделаны попытки опробовать возможность переноса этого понятия с физических тел на сложные геосистемы. Это был довольно характерный для современной интеллектуальной индустрии ход: перенести оправдавшие себя в одной из сфер практической деятельности или науки понятие или модель на другую сферу или в другую отрасль науки. В данном случае такая возможность опиралась на два допущения: Во-первых, понятие устойчивость показало свою полезность в решении широкого круга научно-технических задач. Во-вторых, оно опирается на физические модели, т.е. модели науки, которая часто традиционно рассматривается как наука-эталон, наиболее развитая наука. Однако вскоре обозначились основные трудности переноса понятия «устойчивость» из сферы задач механики в сферу задач географии, такие как: отсутствие достаточного числа данных для расчетов, незнание ученых, работающих над данной проблемой, соответствующих математических аппаратов и т.п.

Однако жизнь не стоит на месте, как и наука. Отражая развитие материального мира, изменяется и сознание людей, их идеи, теории, взгляды. В разделе 1.3 подробно рассмотрены современные подходы к определению устойчивости природно-территориальных систем.

### 1.2.3. Математический аппарат описания функционирования моделей природных комплексов

Развитие материального мира представляет собой бесконечный процесс отмирания старого и возникновения нового. История земной коры, например, есть история образования все новых и новых геологических структур. В растительном и животном мире старые органические формы уступают место более новым и современным. Само познание претерпевает множество этапов своего становления. Стремление к познанию породило то, что мы сейчас называем наукой и методологией научного познания мира. Приблизительно в познании можно выделить три этапа (В.Г.Афанасьев, 1986). На первом этапе путем наблюдения и личного опыта человек формирует некоторые гипотезы. На этом этапе формируются проблемы и задачи, решение которых помогло бы установить истинное положение дел. На втором этапе эти смутные пока догадки оформляются в виде формулировок такого уровня точности, на котором можно перейти к третьему этапу познания – решению этих проблем или задач. Так просматривается общая для всего процесса научного познания триада: Гипотеза-Модель-Решение. Каждый элемент этой триады для своего порождения требует определенной суммы знаний и умений, своего инструментария. Формирование гипотез возможно лишь при умении наблюдать интересующие нас явления и описывать их в некоторой первоначальной форме. Формирование модели предполагает, что мы обладаем умением соотнесения наблюдаемых явлений с той суммой знаний, с которыми эти явления связаны. Поиск решения определяется способностью к правдоподобным рассуждениям о тех или иных явлениях окружающего мира.

Различают описательные и точные модели. В основе точных моделей лежит предположение о наличии некоторой формальной системы, в рамках которой можно, применяя методы, связанные с этой формальной моделью, находить решения. Самые строгие формальные модели лежат в основе математики. И поэтому понятия «точная модель» и «точное решение» всегда связываются в нашем представлении с тем, что наблюдаемое явление удастся описать в терминах математики, найти точную математическую постановку задачи и решить ее. Такой путь представляется идеальным для всех тех, кто верит во всемогущество точных наук. Но здесь и таятся основные трудности. Математика начинает «работать» лишь с того момента, когда имеется строгая формальная модель явления. Как ее построить математика не интересуется. Он твердо считает, что это должен сделать специалист – эксперт в той области, в которой возникла начальная гипотеза. Так возникает проблема перевода модели, описанной на языке некоторой области человеческой деятельности, в каким-то образом соответствующую ей математическую модель.

Современное состояние многих научных дисциплин находится именно на этом этапе познания. Процесс накопления знаний об окружающих предметах и явлениях длится уже довольно длительное историческое время, тогда как век обобщений и моделей начался сравнительно недавно.

Первые математические модели представляли собой упрощенную систему типа «черного ящика», т.е. описание процесса идет по описанию входных и выходных функций без какого-либо представления о том, что происходит с входной функцией в системе.

Задача современной науки сделать модели максимально «прозрачными», что послужит ступенью к оптимизации решений и уточнению наших познаний о мире. Изучение предметов и явлений в связи и обусловленности с остальными окружающими явлениями и предметами должно послужить отправной точкой к решению поставленных задач.

#### **1.2.4. Оптимизация как процедура исследования**

Оптимизация, как процедура исследования, представляет собой набор способов отыскания экстремальных значений функций на множествах, определяемых линейными и нелинейными ограничениями.

Теорию задач на отыскание наибольших и наименьших величин называют теорией экстремальных задач, теорией оптимизации, теорией оптимального управления, исследованием операций принятия решений и т.п.

Решение большинства экстремальных задач сводится к построению математической модели задачи, в которой записывается функция (условия), максимум или минимум которой отыскивается, и система ограничений на изменения, входящие под знак функции и задающие связи между данными условиями. Некоторые экстремальные задачи можно решить несколькими способами.

В настоящее время единая классификация задач принятия решений ещё не разработана. Можно выделить лишь наиболее важные признаки, в соответствии с которыми способы решения задач оптимизации подразделяют на классы (А.С.Образцов, 1990):

- 1) по количеству критериев оптимизации (однокритериальные и многокритериальные задачи принятия решений);
- 2) по зависимости критерия оптимальности и ограничивающих условий от времени (статические и динамические задачи принятия решений);
- 3) по наличию случайных и неопределенных факторов, влияющих на результат функционирования системы (на детерминированные, стохастические и задачи принятия решений в условиях неопределенности, когда критерий оптимальности зависит не только от стратегий и фиксированных факторов, но и от неопределенных факторов, закон распределения которых неизвестен).

Для каждого класса применяют соответствующий математический аппарат. Однокритериальные статистические детерминированные задачи принятия решений в своей постановке полностью совпадают с задачами математического программирования.

Однокритериальные статистические задачи в условиях риска (стохастические) решают с помощью методов теории вероятностей и математического программирования. При моделировании задач этого класса широко используют метод статистических испытаний (метод Монте-Карло). Решение однокритериальных статистических задач в условиях неопределенности возможно с помощью ряда математических дисциплин: теории игр, теории минимакса, теории статистических решений. Широкое применение находят также экспертные процедуры. Наименее разработаны методы решения многокритериальных задач.

При решении задач оптимизации на основе имитационных моделей применяют численные методы, которые в большинстве случаев не дают теоретически точных значений координат оптимума, но это и не требуется, т.к. достаточно знать эти координаты с задаваемой точностью.

Среди численных методов оптимизации распространены следующие:

1) Оптимизация перебором. Применяется, если число возможных вариантов конечно. Тогда достаточно рассчитать целевую функцию для всех этих вариантов и выбрать наибольшее (или наименьшее) значение.

2) Сканирование. Метод близкий к перебору, но применяемый для непрерывных функций.

Среди других методов многомерного поиска применяют метод покоординатного спуска, метод градиентов, случайный поиск.

В последнее время получила широкое распространение практика применения сетевых моделей поскольку (Л.М.Вивальнюк, 1991) 1) с их помощью можно точнее описывать и исследовать широкий круг реальных задач, 2) они проще, чем другие математические модели, т.к. используют интуитивные, геометрические представления, 3) сетевые алгоритмы оптимизации, как правило, удобнее для решения задач с большим количеством переменных, т.к. при использовании их достаточно сосредоточиться только на некоторой существенной части сложной исследуемой системы. Аппаратом для составления и исследования сетевых моделей является теория графов.

### **1.3. Устойчивость природно-антропогенных комплексов**

#### **1.3.1. Устойчивость природной среды**

Природная система представляет собой материальную систему, находящуюся в динамическом равновесии, достигнутом благодаря тесным взаимосвязям и взаимодействиям процессов и явлений в течение длительной истории развития Земли (В.И.Галицкий, 1989). В динамическом равновесии, которое определяется как «некоторое состояние, формирующееся у природных ландшафтов под влиянием

внешних факторов, с одной стороны, и процессов самоорганизации, саморегулирования – с другой, у антропогенных ландшафтов – под влиянием факторов (природных или внешних антропогенных), с одной стороны, и сочетания процессов саморегулирования и управления – с другой», находятся и природные комплексы.

Природные и природно-технические комплексы, в силу своей многокомпонентности и сложности характеризуются большим разнообразием равновесных состояний (В.И.Галицкий, 1989). Различают равновесие любого динамического состояния, равновесие развития и равновесие функционирования. Равновесие обеспечивает функционирование и развитие природных комплексов в изменяющихся условиях. Оно поддерживается взаимодействием между компонентами, осуществляемым через систему процессов. Равновесие является естественным, нормальным состоянием природно-территориальных комплексов. Динамическое равновесие любой природной системы обеспечивает ее способность к гомеостазу. Равновесие природной среды относительно. Оно может быть нарушено природными или – чаще всего – антропогенными процессами. Чем интенсивнее процессы, тем сильнее они расшатывают равновесие. Особенно быстро это происходит тогда, когда возникают экстремальные ситуации или интерференция действий нескольких процессов и явлений.

Нарушение равновесия бывает прямым и косвенным. Первое сопровождается нарушением вертикальной и горизонтальной структур и при этом может быть механическим без выноса вещества (с разрушением горных пород, рельефа, уничтожении растительности); механическим с выносом вещества (с разрушением поверхности эрозией, дефляцией, пылевыми бурями и пр.); химическим с выносом вещества (химическая суффозия, вынос растворенных веществ); химическим с привносом вещества (с аккумуляцией в почве чрезмерного количества солей, принесенных грунтовыми или поверхностными водами). Косвенное нарушение равновесия осуществляется процессами и явлениями, возникающими за границами природных комплексов – на соседних территориях. В одних случаях – это механическое воздействие (например, пылевые бури) или химическое с привносом вещества; в других – создание препятствий для потоков вещества и энергии в том или ином виде на границах природно-территориальных комплексов.

Нарушения равновесного состояния вызывают неустойчивость и изменения, которые могут быть временными, обратимыми, но чаще всего они необратимы. Нарушение равновесия может происходить настолько быстро и интенсивно, что нейтрализовать действие антропогенных процессов природно-территориальные комплексы не в состоянии. Это влечет за собой разрушение взаимосвязей между компонентами, нарушение структуры природно-территориальных комплексов, их функций. Образуются совершенно новые комплексы, в которых сливаются природные и антропогенные черты, вырабатывается новое равновесие.

Однако природно-территориальный комплекс может противостоять воздействию процессов и явлений (природных и антропогенных), нарушающих состояние равновесия, и сохранить свою жизнедеятельность, т.е. способность функционирования и дальнейшего развития. Это свойство именуется устойчивостью. Есть несколько определений устойчивости, похожих по существу: как повторяющейся последовательности расположения элементов геосистемы в пространстве (сохранение структуры) и поведения во времени; как свойства геосистемы активно поддерживать значение своих параметров в нужных пределах и сохранять определенный уровень функционирования, проявляющийся при воздействии на нее возмущающих факторов, а также сохранять свою структуру и уровень функционирования при изменившихся условиях. Устойчивость, определяемая как стабильность структур при естественном функционировании природно-территориальных комплексов (ПТК) любого ранга, как бы обратна устойчивости их к большинству антропогенных воздействий; ПТК, устойчивость которых основана на большой изменчивости, связанной со сложностью внутренней структуры, малоустойчивы к антропогенным воздействиям (В.И.Галицкий, 1989).

Выделяют родовую и функциональную устойчивость. Первая основана на инвариантности дискретных структур ПТК более крупного ранга, вторая связана с функционированием в пределах инварианта и определяется локальными колебаниями иерархически организованной внешней среды. Наиболее устойчивы к антропогенным воздействиям ПТК, не отличающиеся большой стабильностью в естественных условиях, со средним разнообразием внутренней структуры.

Критерием устойчивости ПТК является способность противостоять изменяющимся под воздействием внешних процессов и явлений любого генезиса условиям среды, сохраняя при этом связи и свою вертикальную и горизонтальную структуру, нормальное, стабильное функционирование и дальнейшее развитие.

Устойчивость структуры ПТК обеспечивается самоорганизацией, представляющей процесс, в ходе которого создается, воспроизводится или совершенствуется динамическая структура. Она осуществляется в результате изменения интенсивности внутренних связей и возникновения новых. Самоорганизация включает два обязательных этапа: 1) создание множества случайных или не вполне случайных элементов будущих систем; 2) отбор тех сочетаний, которые обладают свойством сохранять свою структуру в условиях разрушающих воздействий извне и изнутри.

Различают устойчивость каждого компонента и ПТК в целом против воздействия внешних процессов и явлений любого происхождения. Устойчивость ПТК зависит от устойчивости компонентов, и поэтому необходимо определить устойчивость каждого из них. В общих чертах она определяется физическими и химическими параметрами. Устойчивость компонентов ПТК неодинакова, в частности, наименее чувствителен к воздействию большинства процессов «сильный» компонент – лизогенная



основа, наиболее – почвенный и растительный покров. Однако устойчивость ПТК не является суммой устойчивостей его компонентов, а зависит от множества факторов, прежде всего от возраста ПТК. Кроме того, устойчивость ПТК зависит от его ранга и сложности строения. Комплексы низкого ранга (фации, урочища) менее устойчивы к воздействию внешних процессов и явлений, в том числе и антропогенных. Продолжительность их существования меньше, чем у единиц более высокого ранга.

Необходимым условием устойчивости и сохранения специфических свойств ПТК разных рангов является их способность к саморегулированию – относительно возобновлению нарушенного равновесия. Под саморегулированием понимается приведение ПТК в устойчивое состояние. Саморегулирование и определяемое им стабилизированное начало являются важнейшими факторами организации, обеспечивают относительное равновесие ПТК при его спонтанном развитии и рациональном природопользовании. При воздействии на природную среду катастрофических внешних процессов способность ПТК к саморегулированию снижается, но не исчезает полностью, так как не все компоненты в равной степени подвержены их воздействию. Наиболее устойчивые компоненты способствуют восстановлению равновесия. Устойчивость ПТК высока, но не безгранична. Природно-территориальные комплексы способны в определенной мере и в течение определенного периода времени нейтрализовать воздействие внешних природных или антропогенных процессов. Однако длительное воздействие одного или нескольких природных или антропогенных процессов приводит к значительному снижению устойчивости отдельных компонентов ПТК изменению их свойств и может закончиться необратимыми изменениями, приводящими к возникновению на его месте нового.

Естественное равновесие и устойчивость природно-территориальных комплексов могут быть нарушены чрезмерной антропогенной нагрузкой, порождающей критические ситуации, обуславливающие возникновение разнообразных неблагоприятных антропогенных и природно-антропогенных процессов и явлений. Под их влиянием происходят изменения характерных черт компонентов, имеющих свойства цепных реакций: изменение одного из компонентов влечет за собой изменение другого и т.д., а так как компоненты взаимосвязаны, то это влечет за собой разрушение структуры ПТК и нарушение его функций.

Примером нарушения (снижения) устойчивости является чрезмерное осушение болотных массивов на Полесье.

Устойчивость изучается разными методами. Перспективно применение принципов, аналогичных подходам теории надежности. Надежность – сложное свойство природно-территориального комплекса, реализующееся в зависимости от типа последнего в соответствии с составляющими надежность простыми свойствами – безотказностью, восстанавливаемостью, долговечностью, чувствительностью.

Математический и концептуальный аппарат исследований указанных свойств позволяет произвести их синтез и получить картину надежности сложных систем. В механизме надежности ПТК важна оценка и систематизация показателей чувствительности его параметров к внешним и внутренним воздействиям. Так как эти параметры могут характеризовать состояние отдельных элементов, блоков, функциональных связей и процессов, то, следовательно, и оценка чувствительности может также характеризовать отдельные элементы, блоки, функциональные связи и процессы в ПТК. Определение чувствительности осуществляется при помощи положений, заключающихся в том, что, во-первых, это свойство относится к отдельным параметрам природно-территориального комплекса; во-вторых, оно связано с конкретными видами воздействия на ПТК; в-третьих – определяется соотношением между степенью изменения параметров природно-территориального комплекса и силой воздействия на него. Количественная оценка чувствительности представляется моделью типа сигнал – отклик.

Многообразие факторов, обеспечивающих устойчивость природных геосистем, затрудняет разработку единого её показателя, охватывающего все стороны их функционирования и составные части. В виду большой сложности геосистем это вряд ли возможно. Поэтому оценка устойчивости осуществляется через систему показателей. Она включает степень самоорганизации ландшафта, которая выражается производением биомассы на ежегодную продукцию, показатели биологического круговорота, степени увлажнения, класса водной миграции, биомассу, увлажненность, показатель биологической эффективности климата и др.

В качестве главного показателя устойчивости природно-территориальных комплексов можно использовать биологическую продуктивность фитоценозов. Так как биологическая продуктивность определяется внутренними свойствами фитоценозов и воздействием внешней среды (продукционно-деструкционными процессами), то их можно принять за главный показатель устойчивости. Для негативной оценки устойчивости ПТК разрабатывается оценочная шкала на основе средних арифметических значений бальных оценок всех компонентов. Оценки используются для классификации ПТК по интенсивности продукционно-деструкционных процессов, отражающих их потенциальную устойчивость.

Показатель биологической эффективности климата (ТК) представляет собой произведение одной сотой суммы активных температур на годовой коэффициент увлажнения. Он синтезирует важнейшие климатические параметры – температуру и относительную влажность воздуха, атмосферные осадки, а также годовую теплообеспеченность. С величиной этого показателя хорошо согласуется биологическая продуктивность.

Величина биомассы в большинстве существующих методик выступает одним из главных критериев устойчивости природных систем. Чем больше биомасса и ее разнообразие, тем выше устойчивость системы.

Альтернативным методом определения устойчивости природных и антропогенных систем может служить прямое измерение соотношения использованной растениями лучистой энергии к общей массе поглощенной на этой территории энергии. Энергетическое выражение индекса устойчивости экосистем (ИУЭ) рассчитывается по формуле (В.Е.Закруткин и др., 2002):

$$\text{ИУЭ} = \text{ПБ}(\text{УП}/R_n),$$

где ПБ – энергетическое выражение биомассы; УП – энергетическое выражение биопродуктивности;  $R_n$  – энергия поглощенной радиации.

Для оценки интенсивности хозяйственной деятельности, при которой данная геосистема оптимально выполняет свои функции, используют расчет хозяйственной ёмкости геосистемы (ХГ) (В.Е.Закруткин и др., 2002). Она зависит от особенностей хозяйственной деятельности, ее воздействия на окружающую среду и устойчивость природных систем. Одна и та же геосистема может иметь разную емкость для разных видов деятельности. Главнейшая задача в оценке хозяйственной деятельности конкретной геосистемы заключается в определении предельно допустимой нагрузки (ПДН) на нее в расчете на единицу площади этой системы. Сама же хозяйственная емкость будет соответствовать величине производства ПДН на площадь данной геосистемы. Наиболее универсальным показателем допустимой антропогенной нагрузки на геосистемы следует считать величину энергии, используемой на единицу площади территории. Любые современные технологии призваны, так или иначе, перестроить окружающую среду, используя природные ресурсы, т.е. потребление биомассы и первичной биологической продукции. В результате применения технологий происходит деформация окружающей среды, возникают локальные, региональные и глобальные ее нарушения. Вместе с тем любая технология использует энергию для прямого или косвенного воздействия на окружающую среду. Поэтому энергетический подход дает возможность количественно оценить пределы интенсивности хозяйственного воздействия человека на геосистемы. Для пахотных агроэкосистем определение ХГ базируется на предположении о постоянной потере гумуса в связи с антропогенной нагрузкой. Суммарная нагрузка складывается из энергозатрат на обработку почвы, посев и уборку урожая, внесение органических и минеральных удобрений, энергии минерализации гумуса (или деградации почв) и энергетической ценности выращиваемого продукта. Синонимом хозяйственной емкости территории выступает экологическая техноёмкость территории (ЭГТ) (В.Е.Закруткин и др., 2002), которую выражают как часть общей экологической емкости геосистем (ЭГ), определяемая статистическим максимумом естественной изменчивости экологически значимых параметров системы – объемов, концентраций и кратностей обмена. ЭГТ вычисляют по формуле (В.Е.Закруткин и др., 2002):

$$\text{ЭГТ} = \sum \text{ЭГ}_i X_i t_i,$$

где  $\text{ЭГ}_i$  – оценка экологической емкости компонента среды (воды, земли, воздуха),  $X_i$  – коэффициент вариации для естественных колебаний содержания основной субстанции в среде, численно равной  $0,43F$ ,  $t_i$  – коэффициент перевода массы в условные тонны (коэффициент относительной опасности примесей), равный  $0,37$  усл. т/т,  $F$  – скорость кратного обновления массы среды.

Общая экологическая емкость геосистем ( $\text{ЭГ}$ ) определяется, 1) объемами основных природных данных климата, совокупности водоемов и водотоков, земельных площадей и запасов почв, биомассы флоры и фауны; 2) мощностью потоков биогеохимического круговорота, обновляющих их содержимое; скоростью местного атмосферного газообмена, пополнения объемов чистой воды, процессов почвообразования и продуктивностью биоты и т.д. Если приоритетное направление хозяйственной деятельности на территории – агропроизводство, то, как правило, ограничиваются определением  $\text{ЭГ}$  лишь ресурсами почвенного покрова. Для определения экологической ёмкости почвы применяется формула (В.Е.Закруткин и др., 2002):

$$\text{ЭГ} = VCF,$$

где  $V$  – площадь территории;  $C$  – плотность поверхностного распределения сухого вещества биомассы территории,  $\text{т/км}^2$ ;  $F$  – скорость кратного обновления массы среды, принимаемая как отношение  $P_v/V$ , где  $P_v$  – среднегодовая продукция сухого вещества биомассы, а  $V$  – среднегодовая биомасса сухого вещества.

Э.Г.Коломыц (2002) предлагается определять потенциальную устойчивость гео- (эко-) систем через объем и мощность экологических ниш. Объем климатической ниши объекта ( $V_{\text{кн}}$ ) определяется как число градаций фактора, охваченное данной нишей, т.е. количество значимых позиций ее вектора столбца в матрице частных коэффициентов связей. Мощность же ниши ( $P_{\text{кн}}$ ) – это максимальное значение нормированной частоты (вероятности), которое отвечает экологическому оптимуму объекта по данному фактору. Параметр  $P_{\text{кн}}$  находится по матрице нормированных частных коэффициентов связей. Первый признак ниши указывает на ширину области гомеостаза, т.е. на диапазон, который занимает данный объект в пространстве значений фактора, а второй – на степень сосредоточенности объекта в той градации фактора, где объект встречается с наибольшей вероятностью, и которую принимают для него оптимальной. В целом устойчивость объекта в данном фазовом пространстве климатической ниши должна быть тем выше, чем больше объем ниши и чем меньше относительная частота (мощность) ее оптимальной градации.

Естественное равновесие и устойчивость отдельных компонентов или ПТК в целом восстанавливаются быстрее в том случае, если воздействие внешних процессов прекращает человек. Он может сделать природные и природно-технические компоненты более устойчивыми, если будет управлять процессами и явлениями.

Сведения об устойчивости и равновесии, условиях которые их обеспечивают, в частности о процессах и явлениях в природной среде, необходимы для разработки теоретических основ и практических рекомендаций по обеспечению нормального функционирования природных и природно-технических комплексов, рационального использования и охраны природных ресурсов.

Основой для оценки устойчивости и продуктивности лесных ландшафтов является потенциальная способность лесов восстанавливаться естественным путем (С.В.Соловьев, 2009). Основные факторы, определяющие возобновление лесов С.В.Соловьев (2009) разделяет на стимулирующие и лимитирующие. К стимулирующим относят: 1) низовые пожары слабой интенсивности, 2) минерализация поверхности вырубков (тракторные волокнистые материалы); 3) деструкция лесной подстилки; 4) сохранение семенников после рубок и лесных пожаров; 5) интенсивность внутрипочвенного выветривания, обусловленная микроклиматическими условиями. К лимитирующим факторам относят: 1) систематические низовые пожары, 2) накопление на поверхности органической массы; 3) катастрофические пожары с уничтожением почвенного субстрата; 4) уничтожение семенников.

П.М.Мазуркин и Н.С.Иванова (2009) считают устойчивой биологическую популяцию и вместе с ней территорию ее проживания, если для здоровых членов популяции экологический коэффициент (отношение представителей какой-либо группы к общему числу представителей) по всем ступеням размерности (или возрастной структуры деревьев) превышает допустимое критическое значение. Для древостоя за допустимое критическое значение экологического коэффициента можно принять золотую пропорцию, т.е. число 0,618. Коэффициент экологической устойчивости древостоя  $K$ , равный отношению числа деловых деревьев (здоровых) к общему числу деревьев данной ступени толщины ( $d$ , см) изменяется согласно следующей статистической зависимости (П.М.Мазуркин и Н.С.Иванова, 2009):

$$K = 0,0013468d^{2,6880} \exp(-0,08548d) + 0,00009511d^{-4,0253} \exp(0,4987d) \cos(\pi d / (5,4078 - 0,015488d^{1,1859}) - 0,5021),$$

Определенная сложная структура биогеоценоза оказывается необходимой предпосылкой для поддержания его устойчивости (А.В.Яблоков, 2006) поскольку основным интегрирующим фактором в жизни биогеоценоза (экосистемы) выступают пищевые (пространственно-энергетические) взаимоотношения, возникающие между его живыми компонентами. Как малокомпонентные экосистемы, так и многокомпонентные могут оказаться менее устойчивыми по сравнению с экосистемами занимающими среднее положение по числу видов. Решающими в устойчивости экосистем могут оказаться не столько количество видов, их составляющих, а экологические особенности видов. При современной антропогенной нагрузке преимущественное развитие в экосистеме получают виды короткоциклические (виды-эфимеры),

успевающие в результате быстрой смены поколений и большой численности особей приспособиться к необычным стрессам (А.В.Яблоков, 2006).

### 1.3.2. Устойчивость сельскохозяйственных ландшафтов

Продуктивность растений является в определенной степени мерой устойчивости. С повышением продуктивности возделываемых культур значение устойчивости к неблагоприятным факторам существенно возрастает. Сравнительный анализ показывает, что при воздействии техногенного загрязнения устойчивость агроэкосистем на разных почвах неодинакова. Действие техногенного загрязнения меньше всего проявлялось (А.И.Осипов, О.А.Соколов, 2001) в агроэкосистемах на дерново-луговой почве, отличающейся наиболее благоприятными агрохимическими свойствами. На всех почвах выявлена высокая общая минерализация азота, несмотря на неодинаковые его ресурсы, однако преобладание отчуждения азота из систем происходит на почвах с низким содержанием гумуса. Временные изменения в групповом и фракционном составе гумуса этих почв указывают на повышение его лабильности, обусловленной, по-видимому, деградацией. Повышение активности этих процессов проявляется и в усилении газообразных потерь, и в подавлении процессов, связанных с его воспроизводством. На незагрязненных почвах изменения в режимах функционирования агроэкосистем от гомеостаза до стресса проявляется при обычных антропогенных нагрузках. Дополнительная нагрузка на агроэкосистемы может привести к адаптивным перестройкам, как в отдельных компонентах, так и в системе в целом. При анализе внутрипочвенного цикла азота с позиций системного подхода, минерализующийся за вегетацию азот почвы (М) можно рассматривать как «вход» вещества в систему (А.И.Осипов, О.А.Соколов, 2001). Выходом служит нетто-минерализующийся азот (Н-М), а возвратом на выходе – реиммобилизовавшийся азот (РИ), идущий на поддержание системы. От механизма регуляции системы по типу обратной связи зависит устойчивость их функционирования. Предполагается, что устойчивость системы обеспечивает возврат вещества, превышающий 50%. Интегральным показателем функционирования агроэкосистем служит отношение Н-М:РИ, характеризующее зависимость между гетеротрофным и автотрофным циклами. Показатель Н-М:РИ близкий или равный единице возможен при рециркуляции азота около 50%. Отклонение от этих критериев свидетельствует о состоянии неустойчивости в агроэкосистемах. Перечисленные показатели используют для интегральной оценки режимов функционирования и состояния агроэкосистем (табл.1.3).

Устойчивость продукционного процесса также предлагается оценивать (Р.Н.Ушаков, 2003) по коэффициенту эколого-экономической устойчивости (Кэу), где предполагается, что 1) урожай – функция

использования растением экологических факторов среды, 2) урожайность должна быть экономически оправданной или рентабельной. Для яровых зерновых нижний порог экономически целесообразной урожайности лежит на уровне 25 ц/га. Ниже этого порога производство зерна убыточно. При таком же уровне урожайности считается, что энергетическая эффективность растениеводства достигает максимума (В.Е.Закруткин, 2002). Для озимых зерновых это 30 ц/га. Для расчета Кэзу предлагают использовать формулу:

$$Кэзу = Уэц - Угтк_{0,1} / Угтк_{0,5(0,7)} - Уэц,$$

где  $Угтк_{0,1}$  – урожайность культуры в сухой год (определяется по регрессионной модели),  $Уэц$  – нижний порог экономически целесообразной урожайности,  $Угтк_{0,5(0,7)}$  – урожайность при сильной засухе (гидротермический коэффициент (ГТК) менее 0,5) или умеренной (ГТК около 0,7). Если Кэзу меньше нуля, производственный процесс в засушливый год считается неустойчивым. Чем выше Кэзу, тем устойчивее процесс формирования биопродукции, стабильнее экономика хозяйства. Для расчета Кэзу составляются регрессионные модели зависимости урожайности от гидротермического режима.

**Таблица 1.3.** Критерии оценки режима функционирования и уровень воздействия на агроэкосистему (А.И.Осипов, О.А.Соколов, 2001)

Режим функционирования	Уровень воздействия	РИ:М, %	Н-М:РИ
Гомеостаз	норма	50±5	0,8-1,2
Стресс	допустимый	45-30	1,2-2,5
Резистентность	предельно допустимый	30-20	2,5-4,2
Адаптационное истощение	критический	20-10	4,2-9,0
Регрессия	недопустимый	<10	>9,0

Сельскохозяйственное производство, организуемое с позиций устойчивого развития должно удовлетворять следующим критериям (Э.П.Романова, Б.А.Алексеев, 2005):

1) обеспечивать население необходимым количеством продовольствия и другой сельскохозяйственной продукцией (социальная составляющая устойчивости);

2) быть экономически рентабельным и обеспечивать достаточный уровень доходов аграриев (экономическая составляющая);

3) обеспечивать устойчивое функционирование агроэкосистем, не допуская деградационных процессов (экологическая составляющая).

Переход от ресурсоразрушающих интенсивных агроэкосистем к их адаптивным устойчивым вариантам обеспечивается при помощи оптимизации структуры агроэкосистем.

На сегодняшний день наиболее распространены два сценария экологизации аграрного производства (В.М.Миркин, В.М.Хазиахметов, 1995):

1) «зеленая революция» - согласно которой предлагается резкое повсеместное сворачивание интенсивных технологий и смена их на экологически адаптированные формы.

2) «зеленая эволюция» - этот подход предлагает эволюционное приближение деградированных интенсивных агроэкосистем к экологически устойчивым вариантам при постепенном вводе в основу их функционирования трех агроэкологических процессов:

а) сестайнинга – самоподдержание и самовосстановление агроэкосистем;

б) адаптивного подхода – повышения эффективности вложений антропогенной энергии путем максимальной окупаемости фотосинтезом каждой единицы вложенной энергии;

в) экологического императива – система запретов (ограничений) на все формы использования агроэкосистем, которые разрушают ресурсы и загрязняют окружающую среду.

Экологическая оптимизация агроэкосистемы, как правило, приводит к уменьшению площади пашни, повышению доли природных кормовых угодий, лесомелиораций, сокращению поголовья скота совершенствованию севооборотов за счет повышения доли почвовосстанавливающих культур (В.С.Забалов, 2001).

Суть оптимизации структуры агроэкосистемы – расчет таких её параметров, которые позволяют с одной стороны остановить процесс разрушения агроресурсов (почв, травостоев, природных кормовых угодий, гидрологического режима и всего биоразнообразия агроэкосистемы), а с другой – получать достаточно высокую отдачу вложенной антропогенной энергии урожаем растениеводства и продукцией животноводства.

Идея агроэкологической оптимизации развивалась эволюционно. Можно условно выделить три основных этапа:

- 1) период узкоспециальных природоохранных технологий;
- 2) период комплексных систем оптимизации агроландшафтов;
- 3) период агроэкологических проектов оптимизации.

Широкий круг задач, которые должна выполнить оптимизация агроэкосистем определяет наличие разных путей решения и различных критериев.

С практической точки зрения чаще всего рассматривают такие задачи:

- 1) размещение и структура посевов;
- 2) оптимальное использование имеющихся земельных ресурсов.

Среди критериев отличают:

- 1) кормовые, или зерновые единицы;
- 2) урожайность;
- 3) количество выноса NPK.

Основная помеха к достижению устойчивого функционирования агроландшафтов – развитие негативных процессов, которые возникают в ответ на воздействие. Эти процессы многообразны, иногда интенсивны, и для их преодоления разрабатываются специфические адаптированные агротехнологии. Их суть сводится к тому, чтобы (Э.П.Романова, Б.А.Алексеев, 2005): 1) минимизировать использование искусственных



соединений, которые вредят ландшафту (кислых минеральных удобрений, биоцидов и др.); 2) использовать органические вещества для повышения плодородия почв; 3) применять разнообразные защитные мероприятия (к примеру, противоэрозионные), 4) активизировать внутриландшафтный мониторинг за состоянием почвы и растений и т.п.

Среди вариантов экологически адаптированных агротехнологий выделяют:

- 1) минимальная или нулевая обработка почвы на пологих поверхностях;
- 2) использование высоких доз навоза;
- 3) противоэрозионные севообороты;
- 4) тщательный контроль за содержанием биофильных соединений в почвах;
- 5) за водно-химическим и водно- физическим состоянием почв и тп.

В последние годы с позиций концепции устойчивого развития чаще всего используют технику органического сельского хозяйства, то есть отказываются от использования искусственных кислых минеральных удобрений и биоцидов, заменяя их навозом или зеленым удобрением. Вследствие чего снижается опасность евтрофикации водоемов, закисления почвы, загрязнения растительной продукции.

Однако широкому применению органического сельского хозяйства препятствует основной экономический эффект – снижение рентабельности производства и уменьшения прибыли. Поэтому в развитых странах государство компенсирует разницу в прибыли.

Для выяснения возможности организации устойчивого сельскохозяйственного производства, не наносящего вреда природным ландшафтам, рассчитывают агроприродный потенциал каждого ландшафта, и также выясняют необходимость применения разных технических и мелиоративных мероприятий для получения устойчивых урожаев.

С этой целью в пределах ландшафтов исследуют системы хозяйственного влияния – селитебные, пахотные, пастбищные, лесохозяйственные или их разнообразные объединения.

В результате длительного дифференцированного окультуривания почв, тщательного контроля за содержанием гумуса и основных биофилов в почвах и водно-физическим состоянием почв, применения сложных севооборотов, снижающих риск эрозии и дефляции и других мероприятий на землях, которые исходно не имели высокого плодородия, можно получать высокие урожаи (на примере в Европе урожаи зерновых достигают 65-70 ц/га на дерново-подзолистых почвах).

Однако на этом фоне наблюдаются и негативные процессы, возникающие именно из-за сельскохозяйственной практики и влияния различных выбросов и отходов промышленных и городских объектов.

Первую группу негативных последствий составляют процессы деградации почв и земель, развивающихся на фоне активного

окультуривания почв, к ним относятся эрозия, деформация, разрушение структуры верхних слоев почвы, уплотнения, дегумификация, евтрофикация вод и др.

Другая группа последствий вызвана влиянием на ландшафты городских и промышленных объектов и объектов инфраструктуры. Они определены в виде разных выбросов отходов в окружающую среду и лавинообразное увеличение застройки.

Анализ современной ситуации в земледелии агроландшафтов Западной Европы и реализацию в них экологической составляющей устойчивого сельского хозяйства, показывает, что для обеспечения потребностей в продовольствии и компенсации интенсивности производства в случае повсеместного распространения органического, низкзатратного или других видов альтернативного сельского хозяйства необходимо значительно (в некоторых странах в 1,5-4% раза) увеличить площадь пахотных земель (Э.П.Романова, Б.А.Алексеев, 2005).

То есть, те мероприятия, что имеет наука и производство на сегодняшний день обеспечить устойчивое хозяйствование в агросистемах не могут.

Выдвигаются различные концепции стабилизации и восстановления потенциала агроэкосистем, в частности, на основе внедрения интегрированной биотехнической системы мобилизации и восстановления биологического потенциала почв (Л.В.Погорілий, В.С.Таргоня, 2003) рекомендуется реализация следующих разработок:

1. Создание энергосберегающих технологий и соответствующего комплекса машин для минимальной обработки почвы, сбор зерновых методом обчесывания с дроблением соломы и мульчирования почвы, внесения альтернативных удобрений и биопрепаратов. Применение универсальных энергетических средств и блочно-модульных агрегатов позволяет уменьшить на 27-50% материалоемкость комплексов машин и до 40% затраты на горюче-смазочные материалы. Использование всей нетоварной части урожая в качестве удобрений с одновременным внесением биопрепаратов позволяет повысить коэффициент энергетической эффективности выращивания озимой пшеницы в 1,5-1,8 раза.

2. Создание новых и модернизация старых образцов сельскохозяйственной техники с целью уменьшения технологической нагрузки на почву. В результате переуплотнения почвы возникают такие негативные процессы:

- 1) уменьшается урожайность культур в первый год на 15-60%, на 2-3-4 на 10-30% в зависимости от культуры и типа почв;
- 2) увеличивается плотность пахотного горизонта на 10-40%, глубина уплотненного горизонта достигает 40-80 см, а некоторых случаях – 1 м;
- 3) ухудшается структура пахотного слоя, уменьшается его водопроницаемость (2-5 раз) и увеличивается испарение влаги (до 1 мм/га за сутки);

4) увеличиваются на 12-90% энергозатраты на обработку уплотненной почвы, а также количество неусвоенных минеральных удобрений (до 50%).

3. Создание технических способов ускоренного залужения земель выводимых из интенсивной обработки, как с целью восстановления их плодородия, так и для более эффективного использования.

4. Создание технологий и оборудования для ускоренной многотоннажной биотехнологичной переработки органических отходов растениеводства, животноводства и перерабатывающих отраслей с целью получения биологически активных гуминосодержащих и высокоэффективных удобрений (биогумусов).

5. Создание рецептуры, технологий и оборудования для многотоннажного производства гранулированных органо-минеральных смесей проланганового действия, в состав которых входят навоз, торф, сапрпель и минеральные анти-фитотоксиканты: дефекаат, цеолиты и вермикулиты, бентонитовые глины и другие соответствующие минералы природного происхождения.

6. Дальнейшее создание технологий и оборудования для промышленного внедрения в условиях районных биолaborаторий экологически безопасных бактериальных препаратов (азотфиксирующих, целлюлозоразрушающих, фосфор-мобилизирующих и биопестицидов).

7. Создание технико-методологической базы систем мониторинга и точного земледелия. Это, прежде всего, автоматизированное картографирование земель по содержанию на каждом участке питательных веществ и гумуса, а также оборудования для обеспечения технологий сменных норм внесения технологических материалов.

#### **1.4. Оптимизация как аппарат создания экологически устойчивых природно-антропогенных систем**

Оптимизация взаимодействия природы и общества – задача глобального типа. Ее окончательное решение требует существенного продвижения в развитии науки в целом и, следовательно, связано с существенными затратами времени. Но уже сейчас ряд моментов требует оптимального решения. Анализ структуры взаимодействия природы и общества показывает, что на современном этапе развития науки имеется возможность практического решения задач “минимизации” негативных последствий технического развития.

Основные предпосылки, позволяющие в настоящее время создать модели экологически сбалансированных антропогенно устойчивых природных комплексов следующие: 1) наличие количественных показателей динамики ландшафтов (сток, осадки, залесенность, распаханность и т.д.), 2) уровень развития математических наук вполне удовлетворяет поставленной задаче создания моделей, 3) концепции взаимодействия элементов в природном комплексе в топологическом плане отработаны достаточно всесторонне.

Остается открытым вопрос о влиянии хозяйственной деятельности. Благодаря огромной работе большого числа специалистов создана концепция охраны окружающей среды, направленная на снижение негативных последствий антропогенных воздействий. К числу таких принципов относятся: 1) профилактический подход к охране природных ресурсов, устранение причин загрязнения взамен преобладающей борьбы с последствиями; 2) подчинение в хозяйственном звене круговорота воды, обмена биогенных элементов естественному процессу возврата их почве в целях поддержания ее высокого плодородия и наиболее эффективного их обезвреживания; 3) переключение предприятий основных отраслей водоемкой промышленности на замкнутое безотходное оборотное водоснабжение с вторичным использованием веществ, содержащихся в использованной воде; основой такой меры является локальная регенерация воды, отработанной в одной производственной линии, что обеспечивает наиболее полное извлечение из нее одного вида загрязнений; 4) усовершенствование технологии тех промышленных предприятий, например, целлюлозно-бумажного производства, в которых локальный принцип не может дать необходимого эффекта; 5) перевод на замкнутый цикл охлаждения водой теплоэлектростанций и аналогичных им промышленных предприятий, использование для этой цели морской воды и переход на воздушное охлаждение; 6) применение почвозащитной водоохранной системы земледелия.

Проблемы и противоречия, связанные с устранением экологических последствий человеческой деятельности в природе, неизбежны и в будущем в силу диалектического характера общественного развития, идущего в противоречиях и путем противоречий. Это необходимо учитывать при моделировании глобальных структур и процессов, выявлении и анализе возможных альтернатив развития человеческой цивилизации.

### **1.5. Пространственно-временная организация агроландшафтов**

Многолетняя распашка степей, уничтожение лесов, сокращение лугов и пастбищ привело к нарушению взаимосвязей между компонентами природных систем, изменило соотношение между ними и привело к потере их устойчивости, что в свою очередь вызвало необходимость перестройки системы для достижения равновесия. И эта перестройка выражается, как правило, в развитии таких неблагоприятных явлений как иссушение, эрозия, химическая и физическая деградация земель, инвазия не характерных видов, подтопление и т.п. Нужно еще иметь в виду, что все это происходит на фоне колебаний климата, которые также способны вызывать подобные явления (А.Н.Каштанов и др., 1994).

Пространственно-временная организация характерна, как для природно-антропогенных систем, так и для природных. Разница заключается в длительности протекания сукцессионных процессов,

характеризующих временную организацию биогеоценозов. В природно-антропогенных системах (агроландшафтах) временную организацию системы определяет человек, при помощи севооборотов и смена растительности на части агроландшафтов происходит практически каждый год.

Чередование культур в севообороте призвано регулировать 1) питательный режим растений, 2) фитосанитарное состояние почвы и ценозов, 3) водный режим почвы. Разные растения для формирования своей фитомассы используют разное количество и состав питательных веществ и в различное время вегетации и по-разному влияют на физико-химические свойства почвы, что и стараются учесть в севообороте для предотвращения истощения почв. Вредители и болезни так же, как правило, имеют определенные видовые привязанности в растительных сообществах, поэтому для предупреждения чрезмерного их развития стараются чередовать посевы с различной пищевой привлекательностью для них. Кроме того, растения по-разному в течение вегетационного периода используют воду и из различных глубинных горизонтов, что позволяет снизить неблагоприятное влияние погодных колебаний.

Кроме временной организации агросистем севооборота являются частью пространственной их организации.

В целом агроландшафт в пространстве можно подразделить на различные уровни дифференцированные: 1) по природным зонам; 2) по районам; 3) по склону; 4) по частям склона; 5) по экологическим нишам.

Дифференциация по природным зонам определена погодноклиматическими особенностями, почвами, увлажнением, т.е. факторами, лимитирующими существование растений согласно их физиологическим особенностям. Здесь определяется потенциально возможное соотношение между компонентами агроландшафта: полем-лесом-лугом.

Дифференциация по районам или отдельным хозяйствам определяется необходимостью обеспечения биокоридоров, прерывания путей миграции насекомых и болезней, учет микроклиматических особенностей и распределения влаги. Благоприятным для развития энтомофауны является бессменное возделывание культур на одном месте и отсутствие пахоты. Прерывание путей миграции вредителей возможно с помощью лесных полос, демпферных полос, отсутствия поблизости полей с культурами одного вида. Здесь используется дезориентировка насекомых фитонцидами растений, не являющихся их кормовой базой. Биокоридоры же необходимы для поддержания биоразнообразия и сохранения полезных видов. Чем разнообразнее ценоз, тем он устойчивее во всех отношениях.

Как известно, функции лесных насаждений разнообразны: они защищают посевы от выдувания (в зоне 25-30 высот насаждений), увеличивают накопление снега, улучшают поглощение влаги почвой, повышают эффективность удобрений, способствуют накоплению гумуса (в зоне 10 высот насаждений) и улучшению водно-физических свойств почв

(в зоне до 25 высот насаждений). Кроме того, зоны лесных насаждений являются резервантами как полезной, так и вредоносной энтомофауны и болезней. В зоне 5 высот насаждений наблюдается повышенное скопление отдельных видов насекомых и болезней, что обусловлено более длительным росяным периодом в этой зоне. Зоны смыкания лесополоса-поле и лес-луг наиболее заселены растениями-резерватами инфекций (кострец безостый, пырей ползучий, горец птичий и т.п.), однако именно отсюда на поля перемещается наибольшее количество полезных насекомых.

Полезность от лесных насаждений несомненна, однако существует проблема вырастить лес и лесные полосы, особенно в зоне недостаточного увлажнения. Анализ результатов попыток вырастить лес или лесные полосы в степи и на склонах, показал существенную необходимость в перераспределении увлажнения территории. Наибольшее увлажнение наблюдается вдоль речных русел и по балкам и ложбинам где весной и во время дождей концентрируются потоки воды. В этих местах деревья растут хорошо. Интересен в этом отношении опыт, проведенный В.В.Докучаевым более ста лет назад в степи на изрезанном оврагами водосборе одной из балок реки Деркул. На всей территории водосбора в отвершках оврагов и ложбин были построены запруды для сезонного регулирования стока воды по водосбору. Часть территории была засажена отдельными массивами лесных насаждений. Запруды способствовали задержанию влаги на территории, увеличению влажности воздуха и поднятию кривой депрессии грунтовых вод. В результате лес существует до сих пор, интенсивность эрозионных процессов уменьшилась, днище балки, в той части территории, что была оставлена нетронутой, заросло степной растительностью.

Дифференциация по склону предусматривается системой земледелия (ландшафтной, контурно-мелиоративной и т.п.). Так, контурно-мелиоративная система земледелия предусматривает дифференциацию всех обрабатываемых земель в зависимости от уклона и эродированности почвенного покрова на три технологические группы (Ф.Т.Моргун, А.Г.Тарарико, 1988): 1) склоны до  $3^{\circ}$ , размещаются интенсивные зерно-паро-пропашные севообороты; 2) земли с уклонами  $3-7^{\circ}$ , размещаются интенсивные севообороты зерно-травяного типа; 3) сильноэродированные склоны более  $7^{\circ}$  рекомендуется использовать для длительного залужения бобово-злаковыми травосмесями; 4) склоны более  $20^{\circ}$  после террасирования используют под посадки плодовых и лекарственных древесных насаждений. В последние годы рекомендуется склоны круче  $3^{\circ}$  выводить из севооборотов и использовать под залужение.

Дифференциация по полю склона предусматривает определение последовательности чередования агрофонов на склоне с целью прерывания нарастания энергии водных потоков, движущихся по склону. Как известно, поток воды обладает потенциальной (его глубина) и кинетической (его скорость) энергией, определяющей способность потока разрушать почву,

сооружения и т.п. Компенсация энергии потока происходит за счет размыва поверхностей. Не скомпенсированная энергия потока гасится соответствующим количеством наносов, при уменьшении энергии перегруженный наносами поток отлагает наносы и так вдоль всей длины линии тока воды идет чередование зон размыва и отложения наносов согласно изменению энергии потока. Наиболее защищенный в эрозионном плане агрофон способствует увеличению не скомпенсированной энергии потока, поскольку почва здесь разрушается слабо (например, многолетние травы), если ниже него располагается менее защищенный агрофон (например, озимые) поступление осветленных энергетически активных потоков воды будет способствовать усилению размыва склона. Агрофона по полю склона следует располагать так, чтобы не происходило усиление энергии потока за счет осветления или увеличения скорости движения воды.

Дифференциация по экологическим нишам. Как известно, одновидовые посевы подвержены самоугнетению за счет конкуренции за одни и те же ресурсы, в них наблюдаются колебательные изменения фитомассы. Увеличение шага посадки не спасает от проблемы, а лишь растягивает колебания во времени и приводит к уменьшению полезной биомассы и (или) уменьшению защищенности поверхности от вымывания и выдувания и т.п. В природе строго одновидовых ценозов не существует. Тут всем растительным сообществам присуща ярусность, т.е. растения группируются по особенностям отношения к ресурсам роста: питательным веществам, теплу, свету, влаге. Многокомпонентные посевы в агроценозах пока что успешно применяется в травяных севооборотах, применение для других посевов испытывает трудности связанные с высевом семян, сбором урожая, получения товарно-однородной продукции. Однако многокомпонентность посевов способствует: улучшению свойств почвы за счет большой массы корней и различному влиянию на физико-химические свойства почвы, увеличению противоэрозионной стойкости, улучшению водного режима из-за различия во времени максимальной транспирации, дополнительное затенение почвы уменьшает физическое испарение с поверхности почвы, увеличивает устойчивость против болезней и насекомых.

В настоящее время существует несколько подходов к определению оптимальной структуры агроландшафта. На основе их анализа определены следующие основные положения (А.Н.Каштанов и др., 1994):

1. Для каждого агроландшафтного региона соотношения природно-хозяйственных угодий должно быть индивидуальным.

2. Выбор территориальной единицы для проведения анализа должно определяться поставленной задачей, ограничениями физико-географической размерности и обеспеченности фактическим материалом.

3. При выборе цели следует использовать уже установленные зависимости между структурой природного биоценоза и средовосстановительным эффектом, лесистостью и коэффициентом стока,

экономической эффективностью и урожайностью, с одной стороны и площадью агроландшафтных массивов с другой.

Среди территориальных единиц наиболее четко и часто обосновываются агроландшафтный район или местность и речной водосбор. Однако следует иметь в виду, что детальное агроландшафтное районирование проведено не для всех областей. Речной бассейн является наиболее экологически обоснованной единицей исследования, однако для его использования необходим пересчет большого количества информации на его территорию.

Проведенные исследования показывают, что проблема пространственно-временной организации агроландшафтов с целью повышения их устойчивости и продуктивности многоуровневая и может быть решена только комплексно. На всех уровнях необходимо решить вопрос о распределении ресурсов (влаги, тепла, питательных веществ, света) между компонентами агроландшафта и их эколого-экономической совместимости (получение максимального эффекта при минимальных затратах, что возможно при включении механизма природного саморегулирования). На каждом уровне организации данный вопрос решается исходя из масштаба уровня по-разному.

### **1.6. Современные представления о развитии растений**

Длительность любого периода развития растений, в т.ч. всего онтогенеза, не является постоянной величиной (М.М.Наумов, 2008). К примеру, длительность вегетационного периода подсолнечника на юге Украины может колебаться от 80 до 120 суток. При этом рассматривается календарная шкала времени, т.е. фактическое время. Если рассматривать начало вегетационного периода (посев) и конец вегетационного периода (полное созревание) как два события, происходящие в организме растения, то можно отметить, что события «посев» и «полное созревание» фактически одно и то же, т.к. развитие растительного организма начинается с семян и заканчивается опять семенами, проходя все этапы, стадии и другие формы развития. Поэтому нецелесообразно рассматривать пространство временных переменных процесса в декартовой плоскости. Тогда логично ввести биологическую ось времени в которой продолжительность времени между двумя событиями, посев-полное созревание, будут иметь одну и ту же длительность времени. В этой же шкале можно рассматривать межфазные периоды, этапы онтогенеза и другие события происходящие в организме растения. Введение биологической оси времени позволяет сделать вывод о существенном релятивизме временных процессов, происходящих в организме растений, когда время растягивается или сжимается по своей оси. Структура биологического времени должна иметь замкнутый характер движения в связи с замкнутым процессом развития растений (от семени до семени) и повторением цикла онтогенеза при каждой вегетации. Физическое время



имеет свойство движения равномерно слева на право, в то время как биологическое время осуществляется практически по кругу. Примером биологической оси времени может служить метод сумм эффективных температур и его различные модификации. Установлено, что изменение длительности онтогенеза или любых его отрезков определяется состоянием факторов внешней среды в каждый момент времени исследуемого периода. В целом состояние внешней среды, характеризуемое различными факторами, определяет скорость развития растений. Скорость газообмена  $\text{CO}_2$  определяет не только процессы роста, но и процессы развития. На скорость газообмена  $\text{CO}_2$  в целом влияет состояние внешней среды и возраст растений. Если рассматривать газообмен  $\text{CO}_2$  для данного возраста растения, то его скорость определяется только лишь внешней средой. Поэтому из всех факторов внешней среды нужно выбрать факторы, которые существенно влияют на газообмен. К таким факторам внешней среды относятся факторы света, тепла, влаги, минерального питания. Существует максимальная для данного вида (сорта) скорость газообмена  $\text{CO}_2$ , которая считается наиболее оптимальной. При таком газообмене скорость роста растений максимальна. Так же максимальна и скорость развития. При снижении скорости газообмена  $\text{CO}_2$  по отношению к максимальной для данного возраста растений процессы развития будут замедляться. В связи с этим, существуют оптимальные условия внешней среды, существуют оптимальные значения факторов внешней среды для газообмена  $\text{CO}_2$ . Т.е. скорость газообмена  $\text{CO}_2$  определяет биологическую ось времени.

Биологическое время двумерно. Для его представления удобно использовать полярные координаты. Чем ближе характеристика окружающей среды к биологическому нулю, чем ближе к нулю результирующая. Например, рассмотрим элементарное приращение сумм эффективных температур  $\Delta T_{\text{эф}}$ . Величина этого приращения  $\Delta T_{\text{эф}}$  зависит от температуры воздуха. Если температура оптимальна, то приращение будет максимальным  $\Delta T_{\text{эф}}$ . Если температура упала до биологического нуля, то приращение будет нулевым. Т.е. мы имеем вектор, который в зависимости от температуры воздуха меняет свою длину от максимальной до нулевой при падении температуры от оптимальной до температуры нулевой биологической активности. Мы имеем проекцию реального вектора  $\Delta T_{\text{эф}}$ , который в зависимости от температуры воздуха (напряженности фактора тепла) осуществляет поворот вокруг некоторой точки. Точка поворота вектора – это текущий момент времени. Угол поворота вектора будет зависеть от температуры воздуха. При оптимальной температуре воздуха угол будет равен нулю и, следовательно, приращение  $\Delta T_{\text{эф}}$  будет максимальным. При температуре воздуха равной биологическому нулю угол будет равен  $90^\circ$  и, следовательно, проекция на ось будет нулевая и приращение  $\Delta T_{\text{эф}}$  равно нулю.

## Глава 2. ОЦЕНКА ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ТЕРРИТОРИИ

### 2.1. Свойства почв

**Плодородие.** По определению Б.Г.Розанова (1988) почва – это обладающая плодородием сложная полифункциональная и поликомпонентная открытая многофазная структурная система в поверхностном слое коры выветривания горных пород, являющаяся комплексной функцией горной породы, организмов, климата, рельефа и времени.

Почвенный покров является одним из важнейших компонентов биосферы и как этот компонент выполняет ряд экологических функций (ЮЕ.Кизяков, 2001, и др.): обеспечение существования жизни на Земле, постоянное взаимодействие большого геологического и малого биологического круговорота веществ на земной поверхности, регулирование химического состава атмосферы и гидросферы, регулирование плотности живых организмов на Земле путем воспроизводства плодородия, аккумуляции органического вещества и связанной с ним химической энергии.

Плодородие – это способность почвы удовлетворять потребности растений в элементах питания, влаге, воздухе, а также обеспечивать условия их нормальной жизнедеятельности. Плодородие – биологическое качественное свойство, которое отличает почву от горной породы и делает это природное образование основным средством сельскохозяйственного производства и объектом применения труда (М.И. Полупан и др., 2005).

Почва должна быть благоприятной средой по теплу, физическим и физико-химическим показателям, засолению и загрязнению. Все эти факторы и условия благоприятствования продуктивной способности почв функционально определяются факторами почвообразования, так как почва и ее плодородие взаимосвязаны. Поэтому в пространстве уровень плодородия почв неодинаковый из-за смены природных условий почвообразования.

В природе вообще не плодородных почв не существует, так как в их формировании принимала участие определенная растительность. Речь может идти об уровне её продуктивности, который в одних и тех же условиях будет неодинаковым для разных как природных, так и культурных растений. Поэтому плодородие почвы – явление относительное, оно зависит не только от свойств почвы, а и от растений, которые культивируются на ней. При одинаковых условиях определенная культура хорошо обеспечивается всеми необходимыми элементами, а другая – нет. На песчаных и связно-песчаных почвах Полесья дуб не растет, а сосна развивается хорошо, озимая пшеница даёт низкий урожай и значительно лучший озимая рожь, люпин и т.п. Поэтому когда речь идет о качественной характеристике почвы, её плодородии и продуктивности, она должна относиться к конкретным культурам, а не вообще.

По обобщенным данным полевых опытов агрохимслужбы и географической сети, долевое участие почвенного плодородия в урожае озимой пшеницы составляет в Украинском Полесье на дерново-подзолистых почвах 64-69%; в Лесостепной зоне на серых и темно-серых лесных почвах – 73-78%; на черноземах типичных – 78-82 %; в Степной зоне на черноземах обыкновенных и южных – 81-82% (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988).

Плодородие почвы при использовании в сельском хозяйстве зависит как от природных факторов, так и развития научно-технического прогресса через применение новых технических способов обработки, посева, сбора урожая, внесения удобрений, защиты от болезней и вредителей, новых сортов и гербицидов, проведения мелиорации и т.п.

Как уже подчеркивалось в разделе 1.1, на сегодня нет однозначного подхода к определению видов почвенного плодородия и её терминологии – выделяют природное, искусственное, потенциальное, эффективное, актуальное, экономическое, хозяйственное и другие виды плодородия.

Природное плодородие свойственно любой почве как природному телу. С момента, когда она становится способом производства, испытывает различные агротехнические, мелиоративные и др. действия, природное плодородие её меняется, и она приобретает искусственное плодородие, её уровень зависит от социально-экономических условий, уровня развития продуктивных сил общества, науки и техники.

Потенциальное плодородие – гипотетически возможная продуктивность сельскохозяйственных культур за счет наличия благоприятных агрономических свойств, но которая не может быть реализована в следствие лимита отдельных экологических ресурсов. Она определяется общими (валовыми) запасами питательных веществ в почве. Её часто называют богатством почвы.

Актуальное и эффективное плодородие зависит от наличия в почве доступных для растений форм зольных элементов и азота, воды, воздуха и других благоприятных условий для развития растений.

Хозяйственное плодородие – плодородие распаханых почв (Ю.Е.Кизяков, 2001), отражающее многостороннее влияние хозяйственной деятельности человека. Оно, в свою очередь, подразделяется на плодородие орошаемых почв, неорошаемых, мелиорированных, многолетних насаждений.

В качестве показателя эффективного плодородия почвы (А.А.Шпедт, 1997) рекомендуют содержание в почве подвижных гумусовых веществ и оптическую плотность 0,2 н. NaOH –вытяжки.

Виды плодородия требуют уточнения, так как они не полной мерой отражают всю сложность, многогранность и динамичность этого явления. Плодородие понятие конкретно-утилитарное, рассчитанное на практическое использование. Его не следует переводить в плоскость философских категорий. Поэтому термин «потенциальное плодородие» применять не целесообразно, так как он противоречит самому

определению плодородия. Так, чернозем южный тяжелосуглинистый по традиционным представлениям очень потенциально плодородный сравнительно с дерново-подзолистой легкосуглинистой почвой. Однако по продуктивной зависимости последний значительно превышает чернозем южный, что обуславливается разной влагообеспеченностью. Искусственное или эффективное плодородие включает, как природные условия, так и дополнительные капиталовложения в создании определенной продуктивности почвы. Но очень важно знать часть этих составляющих для объективной оценки качества земельных ресурсов. Земельный налог, арендная плата, залоговая стоимость (ипотека) ориентированы на продуктивную зависимость за счет природных факторов.

Полное представление о сущности плодородия можно получить на основе данных, характеризующих состояние пищевого, водного, воздушного, теплового, фитосанитарного режимов почвы, а также мощности корнеобитаемого слоя. Высокие и стабильные урожаи культур можно получить в том случае, если все указанные режимы находятся в оптимальных соотношениях в течение всего вегетационного периода.

В то же время такие, хорошо изученные агрономические свойства почв, как 1) содержание подвижных питательных веществ, 2) плотность сложения, 3) структурный состав (по Саввинову), 4) содержание гумуса, 5) реакция почвенного покрова, тесно коррелируют с урожаем сельскохозяйственных культур и отражают уровень их эффективного плодородия (табл.2.1).

Исходя из известных определений, эффективное плодородие почвы представляют как систему природной ( $F_n$ ) и антропогенной (искусственной) ( $F_a$ ) составляющей в виде (В.П.Дмитренко, 2005):

$$F_e = F_n + F_a.$$

Существенными признаками природного плодородия считают (В.П.Дмитренко, 2005) плотность почвы ( $\rho$ ), количество и состав гумуса ( $\gamma$ ), кислотность почвы (рН), массу и состав микроорганизмов ( $\beta$ ). Перечисленные составляющие природного плодородия имеют собственные свойства, отвечающие потребностям конкретных растений, как объектов земледелия. Отдельные свойства могут быть общими положительными или оптимальными для всех выращиваемых культур. Поэтому символы, что отвечают совокупности свойств, удовлетворяющих общие потребности растений, обозначены индексом «о». Тогда природное плодородие символически можно представить в виде:

$$F_n = F_n(\rho/\rho_o, \gamma/\gamma_o, \text{pH}/\text{pH}_o, \beta/\beta_o).$$

Антропогенное или искусственное (дополнительное) плодородие создается, вследствие, целенаправленной деятельности человека с целью получить больший объем соответствующей продукции и сохранить и увеличить природное плодородие. В комплекс агрофитотехнологий, определяющих антропогенное плодородие должны входить следующие составляющие: обработка почвы, внесение минеральных и органических

удобрений, известкование или гипсование; смена ее свойств, вследствие, разложения органических остатков предшественников, сидератов или других веществ, загрязнения и т.п.

Механическая обработка почвы изменяет физические и другие ее свойства, но в основном изменяется плотность, эти изменения отличаются от природной ( $\rho$ ) на значение  $\Delta\rho$ . Внесение органических удобрений в дозе  $D$  и минеральных в дозе  $NPK$  влияет также на ряд агрохимических свойств почвы и может изменять их до уровня оптимального обеспечения растений. К этому также относятся дозы известкования и гипсования, изменение свойств почвы под их действием обозначим как  $\Delta pH$ . Соответствующие изменения вследствие разложения предшественников, сидератов и т.п. ( $\rho$ ), отражаются в изменении массы и состава микроорганизмов ( $\Delta \beta$ ). Отрицательные последствия имеют избыточные дозы любых веществ, вносимых в почву, а также влияние промышленного и антропогенного загрязнения ( $w$ ). Тогда антропогенное плодородие можно представить в виде:

$$F_a = F_a(\Delta\rho, D, NPK, \Delta pH, \rho, w).$$

**Таблица 2.1.** Взаимосвязь свойств почв, определяющих их уровень плодородия (Оптимальные параметры..., 1984)

Ведущее свойство почвенной среды	С какими свойствами почв находятся в корреляционной связи
Гумус	содержание валового азота и его усвояемых форм
	содержание подвижных форм фосфора
	биологические свойства (численность микрофлоры, ферментативная активность)
	состояние почвенно-поглощающего комплекса (емкость поглощения, сумма поглощенных оснований)
	водно-воздушный режим почв (плотность, порозность, воздухоемкость, запас продуктивной влаги)
	реакция почвенного раствора (pH), степень насыщенности основаниями
Механический и минералогический состав	запасы и подвижность элементов минерального питания (калий, фосфор, мезо- и микроэлементы)
	состояние почвенного поглощающего комплекса (емкость поглощения, состав поглощенных катионов)
	содержание органического вещества и, как следствие, биологическая активность почв и запасы азота
	водно-воздушные свойства почв (удельная масса, порозность, воздухоемкость, водопроницаемость, запас продуктивной влаги)
Состояние почвенного поглощающего комплекса и реакция среды (pH)	использование растениями усвояемых элементов питания (фактор интенсивности): азота, фосфора, калия, а также микроэлементов
	биологические свойства: отношение $C_g:C_f$ , численность микрофлоры, ферментативная активность, физико-химические свойства (количество и состав водопрочных агрегатов, структура почвы, соотношение отдельных катионов, степень насыщенности основаниями)

Тогда эффективное плодородие с учетом природного и антропогенного плодородия и требований к выращиванию конкретных культур будет иметь следующий вид:

$$F_e = \left( \frac{\rho + \Delta\rho}{\rho_o}, \frac{\gamma + \Delta\gamma(D, NPK, p)}{\gamma_o}, w, \frac{pH + \Delta pH}{pH_o}, \frac{\beta + \Delta\beta(D, NPK, p)}{\beta_o} \right).$$

Плодородие почвы как функция всего необходимого для развития растений проявляется в создании ими соответствующей биомассы (урожая), как природными так и культурными видами. Большинство исследователей придерживаются мнения, что определение параметров плодородия почвы и её биологического уровня (продуктивность растений) возможно по показателям почвенных режимов: температурного, водно-воздушного, питательного, солевого, окислительно-восстановительного, биологического и др. Однако они, в свою очередь, определяются климатическими условиями, гранулометрическим, химическим и минералогическим составом, физическими, водными, физико-химическими свойствами почвы и т.п. Трудно недооценить роль выше приведенных показателей в плодородии почвы. Однако, сегодня 1) практически нет нормативных показателей режимов большого разнообразия почв Украины; 2) количественные связи между элементами и условиями плодородия и свойствами почвы проработаны слабо. Плодородие – явление конкретное для соответствующей культуры, а в большинстве моделей и культура и её урожай отсутствуют. Однако данные урожайности являются приоритетными в оценке продуктивной способности почв. Они отражают комфорт (или дискомфорт) условий формирования той или другой почвы и их свойств. Поэтому исчерпывающую характеристику почвы по продуктивности можно получить только на основании данных по урожайности. Альтернативы не существует (М.І.Полупан и др., 2005).

Плодородие необходимо оценивать с помощью тех показателей, которые характеризуют почву по способности удовлетворить потребности растений в воде, тепле, питательных веществах и др. В связи с тем, что эти факторы действуют на любых почвах, задание сводится к выявлению свойств почв, параметры которых адекватно отображают комфортность почвенно-экологических условий для определенных культур.

Невозможно продуктивную способность почв оценивать по одному показателю, выраженному в баллах. Плодородие почв в природных и культурных фитоценозах реализуется по-разному. Кроме этого в агроценозах уровень продуктивности наряду с природными показателями плодородия определяется дополнительными капиталовложениями. Поэтому нет и практически не может существовать единого универсального показателя качества почв, рассчитанного каким-либо

методом: 1) субстантивно-статистическим – на основании сравнения важнейших свойств и существенных признаков с обязательным сопоставлением разработанных шкал с урожайными данными; 2) субстантивным – на принципах отбора свойств почв, которые коррелируют с урожайностью сельскохозяйственных культур или 3) статистическим – по среднегодовой урожайности сельскохозяйственных культур.

Оценку качества почв по урожайности нужно проводить по трем таким показателям:

- 1) потенциалу их природного плодородия (природному потенциалу);
- 2) агропотенциала продуктивной способности конкретных сельскохозяйственных культур только за счет природных факторов (агропотенциал природного плодородия);
- 3) при применении дополнительных материальных ресурсов в виде удобрений и мелиорантов в оптимальных объемах, проведении осушения, орошения и т.п. (агропотенциал эффективного плодородия).

Плодородие почв связано с экологическими условиями их формирования. Согласно с канонами генетического почвоведения последние отражаются в соответствующих параметрах почв. Среди них приоритетное значение имеет содержание гумуса как интегральное влияние всего комплекса почвообразователей. Кроме того, он коррелирует с гранулометрическим составом, запасами азота, мощностью гумусовой части профиля, с запасами гумуса. Большинство свойств почвы взаимосвязаны и взаимообусловлены в природной системе, так как существует тесная связь между запасами гумуса и другими свойствами почвы.

Факторы, определяющие плодородие можно подразделить следующим образом (Ю.Е.Кизяков, 2001):

1. Экологические (природные):

Материнские и подстилающие породы. Они оказывают как косвенное (через развитие почв), так и прямое влияние в силу того, что большинство растений своими корнями проникают до 2-3 м, а некоторые – до 6-7 м и глубже, активно используя влагу и питательные вещества пород.

Климатические и погодные условия. Особенности климата (среднегодовой статистический режим погоды) определяют возможность произрастания тех или иных растительных сообществ, или выращиваемых культур, а погодные условия – уровни биопродуктивности.

Рельеф, его формы и типы, экспозиция склонов и т.д. Рельеф оказывает многостороннее косвенное (через почвы) и прямое влияние на почвы как перераспределитель тепла и влаги.

Живые организмы: видовой состав и количественное соотношение растений, а также почвенных макро- и микроорганизмов растительного и животного происхождения. В табл.2.2 показаны экологические функции органического вещества почв.

**Таблица 2.2.** Экологические функции органического вещества почв (А.Д.Фокин, 1994)

Биота	Последовательные превращения органических веществ в рамках биогеохимического цикла углерода	Функции	
		продукционно-воспроизводящие	техногенно-защитные
Первичные продуценты	$\text{CO}_2 \downarrow$ Фотосинтез Первичная биопродукция Симбиозы с первичными продуцентами $\downarrow$	Симбиотическая азотфиксация	Возможность снижения норм минеральных удобрений
Консументы 1-го порядка	Первичная деструкция детрита, $\text{CO}_2 \uparrow$ $\downarrow$	Биологическая мобилизация элементов минерального питания. Несимбиотическая азотфиксация	
	Начало гумификации, $\text{CO}_2 \uparrow$ $\downarrow$	Органо-минеральные взаимодействия и формирование почвенной структуры	
Консументы последующих порядков	Развитие деструкции и гумификации, $\text{CO}_2 \uparrow$ $\downarrow$	Развитие пространственной гетерогенности почвенной массы и формирование локальных зон повышенной биологической активности и корневого питания	Уменьшение поступления токсикантов в растения
	Формирование и развитие системы гумусовых веществ, $\text{CO}_2 \uparrow$ $\downarrow$	Усложнение вещественного химического состава почв и видового разнообразия почвенной биоты	Увеличение возможностей химической деструкции ксенобиотиков и конкурентного уничтожения патогенных организмов
Редуценты	Деструкция и минерализация гумуса, $\text{CO}_2 \uparrow$		

Уровень залегания, минерализация и ионный состав грунтовых вод. Они определяют возможности дополнительного водного питания растений, а также развития процессов олуговения и засоления почв.



Почвенные характеристики: гранулометрический состав, гумусное и агрофизическое состояние, физико-химические, водные и агрохимические свойства, водный, солевой, окислительно-восстановительный и пищевой режимы, степень загрязненности тяжелыми металлами, радионуклеидами и др. вредными для растений веществами.

2. Хозяйственные (агрономические условия):

Структура землепользования и посевных площадей.

Системы севооборотов, обработки, удобрений и защиты растений от сорняков, вредителей и болезней.

Технологии выращивания сельскохозяйственных культур.

3. Социально-экономические:

Обеспеченность денежными средствами и трудовыми ресурсами.

Энергетическая и техническая вооруженность.

Уровень квалификации руководителей, специалистов и исполнителей.

Уровень организации производства.

Все свойства почв значительно изменяются в пространстве и во времени. Свойства почв более крупных таксономических единиц (тип, подтип) варьируют значительно больше, чем свойства почв в пределах одной разновидности или разряда (В.И.Савич, 1971 и др.). Известно, что в определенном типе почв величина коэффициента вариации для валовых форм элементов составляет 9-30%, для подвижных 5-100%, для гумуса 5-40%, для рН 4-60%, для влажности до 30%, содержание веществ в водной вытяжке 20-130%, содержание микроэлементов 9-100%.

Согласно ДСТУ 4362:2004 классификация показателей плодородия почв включает:

а) общие, а именно:

- 1) мощность гумусового слоя почвы;
- 2) мощность профиля для склоновых почв;
- 3) гранулометрический состав;

б) агрофизические, а именно:

- 1) плотность почвы;
- 2) агрегатный состав;
- 3) наименьшая влагоемкость;
- 4) запасы продуктивной влаги;

в) агрохимические, а именно:

- 1) содержание гумуса;
- 2) содержание питательных веществ;
- 3) содержание микроэлементов;

г) физико-химические, а именно:

- 1) реакция почвенного раствора;
- 2) состав поглощенных оснований;

д) показатели загрязненности почвы тяжелыми металлами, остатками пестицидов и радионуклеидами;

- ж) степень засоленности почвы по катионно-анионному составу водной вытяжки (для солонцовых, засоленных и орошаемых земель);
- з) степень солонцеватости почв по содержанию обменного натрия и калия (для солонцовых и орошаемых земель).

Существует система показателей эталонов плодородия почв (ДСТУ 4362:2004). За эталон принимают оптимальное значение диагностического показателя в пределах конкретного типа почвообразования согласно гранулометрии (содержания физической глины). Эталон для минеральных почв на примере чернозема типичного приводится в (Методика агрохімічної паспортизації земель, 2003).

Гумус:

- 500 т/га – запасы в слое от 0 до 100 см.
- (130-140) т/га – запасы в слое от 0 до 20 см.

Максимально возможные запасы продуктивной влаги в слое от 0 до 100 см – 200 мм.

**Эталон для элементов питания:**

а) макроэлементы:

- 1) для азота – 225 мг/кг по Корнфилду; 100 мг/кг по Тюрину-Кононовой;
- 2) для подвижного фосфора – 200 мг/кг по Кирсанову; 200 мг/кг по Чирикову; 60 мг/кг по Мачигину; 70 мг/кг согласно ДСТУ ISO 11263;
- 3) для подвижного калия – 220 мг/кг по Кирсанову, 180 мг/кг по Чирикову; 400 мг/кг по Мачигину.

б) микроэлементы:

- 1) для некарбонатных и малокарбонатных почв (метод Пейве-Ринькиса); марганец – 71 мг/кг; цинк – 1,6 мг/кг; медь – 3,4 мг/кг; кобальт – 2,3 мг/кг; молибден – 0,71 мг/кг; бор – 0,23 мг/кг;
- 2) для карбонатных почв (метод Крупского – Александровой): марганец – 21 мг/кг; цинк – 5,1 мг/кг; медь – 0,51 мг/кг; кобальт – 0,31 мг/кг.

Эталонном загрязненности почв радионуклеидами, тяжелыми металлами, остатками пестицидов считают такую почву, радиоактивная загрязненность которого не превышает нормальный природный фон.

Для минеральных почв плотность загрязнения не должна превышать 1,0 Ки/км<sup>2</sup> относительно цезия –137 и 0,02 Ки/км<sup>2</sup> относительно стронция – 90.

Содержание валовых форм тяжелых металлов в эталонной почве не должно превышать 1 кларка или 0,5 ПДК, а содержание остатков пестицидов должно быть меньше чем 0,5 ПДК.

Взаимосвязи между свойствами почв хорошо аппроксимируются эмпирическими уравнениями. К примеру, для буровато-подзолистых оглееных почв Предкарпатья (І.І.Назаренко и др., 2001) равновесная плотность почв определяется следующим набором факторов:

$$\rho = 0,708 + 0,110C - 9,013 \cdot 10^{-2} \rho S_1 - 6,795 \cdot 10^{-4} \rho S_2 + 2,623 \cdot 10^{-3} \rho l_1 - 8,698 \cdot 10^{-2} \rho l_2 -$$

$$1,490 \cdot 10^{-2} \rho_{l_3} + 8,205 \cdot 10^{-2} i_l + 3,546 \cdot 10^{-2} INV - 0,117 MnRed + 0,738 FeRed + 2,339 \cdot 10^{-2} CO_2 - 6,738 \cdot 10^{-2} pH(KCl) - 6,439 \cdot 10^{-2} Oal - 0,220 OK + 1,953 \cdot 10^{-2} S + 8,391 \cdot 10^{-2} V + 1,705 \cdot 10^{-2} H,$$

где С- содержание гумуса, %;  $\rho S_1$  – песок крупный+средний,%;  $\rho S_2$  – песок мелкий,%;  $\rho l_1$  – пыль крупная,%;  $\rho l_2$  – пыль средняя,%;  $\rho l_3$  – пыль мелкая,%;  $i_l$  – ил,%; INV – ферментативная активность, мг/100 г почвы, за 24 часа: MnRed – Mn-редуктазная; FeRed – Fe- редуктазная;  $CO_2$  – общая биологическая активность  $mgCO_2/100$  г почвы за 24 часа; pH(KCl) – степень обменной кислотности; OAl – обменный алюминий; OK – обменная кислотность, моль-экв/100 г почвы; S – сумма обменных оснований; V – степень насыщения основаниями,%; H – гидролитическая кислотность, моль-экв/100 г почвы.

Сумма квадратов разницы между расчетными и измеренными значениями равновесной плотности составляет  $2,20 \cdot 10^{-11}$ .

Для содержания гумуса:

$$C = -3,319 - 0,330 \rho S_1 - 7,421 \cdot 10^{-2} \rho S_2 + 4,011 \cdot 10^{-2} \rho l_1 - 0,553 \rho l_2 + 0,546 \rho l_3 + 0,405 i_l - 4,032 INV - 1,015 MnRed + 13,043 FeRed + 0,358 CO_2 + 0,596 pH(KCl) - 7,030 OAl + 2,542 OK + 3,745 S + 0,024 V - 0,759 H.$$

Здесь сумма квадратов разницы между расчетными и измеренными значениями равновесной плотности составляет  $1,21 \cdot 10^{-9}$ .

Температуропроводность почвы при одной и той же влажности почвы существенно зависит от содержания органического вещества и плотности почвы (Е.В.Шеин и др., 2009), чем выше содержание органического вещества и ниже плотность, тем ниже температуропроводность при одной и той же влажности. Тогда агросерые лесные почвы, имеющие в составе своего профиля второй гумусовый горизонт, будут медленнее по сравнению с агросерыми лесными и агросерыми лесными оподзоленными проводить температурную волну, т.е. сравнительно долго нагреваться и остывать. Что выражается зависимостью (Е.В.Шеин и др., 2009):

$$\kappa(HB) = 6,465 + 0,001 W_{HГП}^3 - 0,028 W_{HГП}^2 - 0,117 C^2 + 0,6869 \rho^3,$$

где  $\kappa(HB)$ - температуропроводность почвы при HB, кал/(с·см·°С);  $W_{HГП}$ - влажность при нижнем пределе пластичности, %; С – содержание углерода, %;  $\rho$  – плотность почвы, г/см<sup>3</sup>.

**Оптимальные свойства.** Оптимальными считаются такие параметры показателей свойств почвы, превышение которых не обеспечивает увеличение продуктивности почвы и при которых потери вещества и энергии не превышают характерных для данной почвы и для данного района значений.

При определении оптимальных факторов почвенного плодородия необходимо учитывать (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988), что требования различных культурных растений, а также сортов к почвенным режимам неодинаковы. Для одних культур почва может быть высокоплодородной, а для других – малопродуктивной. Среди возделываемых на черноземах типичных культур к числу высокотребовательных относят озимую

пшеницу, сахарную свеклу, горох, картофель; к менее требовательным – яровые зерновые. В то же время оптимумы почвенных условий, соответствующие высокотребовательным культурам, не оказывают отрицательного влияния на рост и развитие менее требовательных.

Оптимальное значение равновесной плотности сложения (объемный вес) для почв среднего и тяжелого гранулометрического состава должно находиться в пределах от 1,1 г/см<sup>3</sup> до 1,3 г/см<sup>3</sup>, а для супесчаных и песчаных почв – от 1,3 г/см<sup>3</sup> до 1,5 г/см<sup>3</sup>. В табл.2.3. представлены оптимальные параметры плодородия некоторых почв (по ДСТУ 4362:2004).

**Агрофизические параметры плодородия почв.** Оптимизация агрофизических параметров плодородия (плотность, пористость, структура, запасы доступной влаги, коэффициенты структурности и водоустойчивости) – важная часть общей проблемы оптимизации среды обитания сельскохозяйственных культур.

Наиболее изучены на Украине в этом отношении черноземы типичные (В.В.Медведев, 1982 и др.). Для них разработана предварительная модель оптимального корнеобитаемого слоя для выращивания зерновых колосовых культур (табл.2.4).

Сравнительное изучение пахотного (посевного слоя) с различным структурным составом показало, что наилучшие условия для роста и развития растений ячменя, проса, овса, кукурузы создались при преимущественном (до 60-80%) содержании в почве агрегатов размером от 5 до 0,25 мм.

Оптимальное содержание физической глины (частички менее 0,01 мм) для различных культур неодинаково, что объясняется с одной стороны, влиянием гранулометрического состава на водно-физические свойства и режимы почвы, а с другой – биологическими особенностями и развитием корневой системы. Оптимальные значения структурного состава почвы необходимо дифференцировать для поверхностного и семенного слоев, а плотность сложения – для поверхностного, надсеменного, семенного, подсеменного и, возможно, подпахотного слоев, т.е. для достижения оптимума условий произрастания культур необходима дифференциация параметров по вертикали.

Диапазон оптимальной плотности, при которой складываются благоприятные водно-физические условия жизнедеятельности растений и проявляются их потенциальные возможности, нельзя характеризовать лишь равновесной плотностью, т.е. естественным состоянием почв в период длительного пребывания без обработки. В значительной мере параметры оптимальной плотности зависят также от влажности почвы и вносимых удобрений. К примеру, азотные удобрения наряду с положительным влиянием оказывают отрицательное воздействие на почву, ухудшая её фильтрационную способность.

**Таблица 2.3.** Оптимальные параметры показателей плодородия почв (по ДСТУ 4362:2004)

Показатели	Параметры в зависимости от гранулометрии (содержания физической глины, %)						
	песчаные <5	связно-песчаные 6-10	супесчаные 11-20	легко-суглинистые 21-30	средне-суглинистые 31-45	тяжело-суглинистые 46-55	легко-глинистые 56-65
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Дерновые оподзоленные (автоморфные)</b>							
Гумус, %	0,4-0,7	0,7-1,4	1,1-2,7	2,0-4,1			
Запас гумуса в профиле, т/га	25-35	35-65	60-120	85-180			
Доступные формы азота (N-NO <sub>3</sub> +N-NH <sub>4</sub> ), мг/кг	30-40	30-40	35-45	35-45			
Подвижный фосфор по Кирсанову, мг/кг	100-150	120-170	150-200	150-200			
Подвижный калий по Кирсанову, мг/кг	120-170	150-200	170-220	170-220			
pH солевой вытяжки	5,1-5,7	5,1-5,7	5,4-6,0	5,4-6,0			
Гидролитическая кислотность, м-экв/100г	1,7-2,0	2,0-2,2	2,0-2,5	2,3-4,5			
Сумма обменных катионов, м-экв/100г	3,0-4,0	4,0-4,5	4,5-9,0	9,0-12,0			
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,5-1,6	1,5-1,6	1,4-1,5	1,3-1,4			
Содержание агрегатов, %:							
(0,25-10,0)мм воздушно-сухих	-	30-40	40-60	40-60			
Более чем 0,25 мм водопрочных	-	20-30	30-50	30-50			
Наименьшая влагоемкость,%	10-12	12-14	14-18	18-22			
Запасы продуктивной влаги в слое почвы от 0 до 100 см, мм	40-50	50-60	60-80	80-120			
<b>Черноземы типичные</b>							
Гумус, %				2,5-4,0	3,5-5,0	4,5-5,7	5,5-6,3
Запас гумуса в профиле, т/га				300-450	360-550	480-550	550-650
Доступные формы азота (N-NO <sub>3</sub> +N-NH <sub>4</sub> ), мг/кг				35-45	35-45	35-45	35-45
Подвижный фосфор по Мачигину, мг/кг				45-60	45-60	45-60	45-60

Продолжение табл.2.3.

1	2	3	4	5	6	7	8
Подвижный калий по Мачигину, мг/кг				250-300	300-400	300-400	300-400
pH солевой вытяжки				5,8-6,4	6,0-6,8	6,3-7,0	6,5-7,0
Гидролитическая кислотность, м-экв/100г				1,8-2,5	1,5-2,5	1,5-2,5	1,5-2,5
Сумма обменных катионов, м-экв/100г				14,0-27,0	21,0-36,0	32,0-44,0	39,0-55,0
Плотность, г/см <sup>3</sup>				1,1-1,3	1,1-1,3	1,1-1,3	1,1-1,3
Содержание агрегатов, %:							
(0,25-10,0)мм воздушно-сухих				70-80	70-80	70-80	70-80
Более чем 0,25 мм водопрочных				55-70	55-70	55-70	55-70
Наименьшая влагоемкость, %				18-22	22-26	26-32	30-34
Запасы продуктивной влаги в слое почвы от 0 до 100 см, мм				90-100	100-130	130-150	140-160
<b>Черноземы обыкновенные</b>							
Гумус, %						3,2-5,3	3,9-6,1
Запас гумуса в профиле, т/га						300-480	330-500
Доступные формы азота (N-NO <sub>3</sub> +N-NH <sub>4</sub> ), мг/кг						35-45	35-45
Подвижный фосфор по Мачигину, мг/кг						45-60	45-60
Подвижный калий по Мачигину, мг/кг						300-400	300-400
pH водной вытяжки						6,8-7,6	6,8-7,6
Сумма обменных катионов, м-экв/100г						30-45	39-55
Плотность, г/см <sup>3</sup>						1,1-1,3	1,2-1,4
Содержание агрегатов, %:							
(0,25-10,0)мм воздушно-сухих						65-80	65-80
Более чем 0,25 мм водопрочных						50-60	50-60
Наименьшая влагоемкость, %						26-32	30-34
Запасы продуктивной влаги в слое почвы от 0 до 100 см, мм						120-150	140-160

**Таблица 2.4.** Предварительная модель корнеобитаемого слоя чернозема типичного с оптимальными агрофизическими параметрами для выращивания зерновых колосовых культур (В.В.Медведев, 1982)

Параметр	Диапазон значений
Структурный состав пахотного слоя перед посевом:	
По соотношению агрегатов различных размеров	в благоприятных условиях увлажнения и минерального питания: 20-5 мм – до 25%; 5-0, 0,25 мм – до 60%; <0,25 мм – не более 15%. В неблагоприятных условиях увлажнения и недостатка элементов питания: 20-5 мм – 10-15%; 5-2 мм – 20%; 2 – 0,25 мм – 45-60%; <0,25 мм – не более 15%
По преобладающему размеру агрегатов без дифференциации (в пахотном или посевном слое)	в благоприятных условиях – 20-25 мм; в неблагоприятных – 5-0,25 мм
С дифференциацией на поверхностный слой (0-4 см)	20-5 мм
С дифференциацией на семенной слой (4-8 см)	5-2 (0,25 мм) мм в зависимости от размера семян
Плотность пахотного слоя (по плотности сложения перед посевом), г/см <sup>2</sup> ;	
Без дифференциации	1,1-1,3; 1,2-1,3 – при недостатке влаги и повышенной дозе удобрений
С дифференциацией на поверхностный слой (0-4 см)	1,0-1,3 (влияние плотности на урожай недостоверно)
С дифференциацией на надсеменную уплотненную прослойку (4-5 см)	1,0-1,3
С дифференциацией на подсеменной слой (8-30 см)	1,1-1,2; 1,2 – при повышенной дозе удобрений
С дифференциацией на подпахотный слой (30-50 см)	1,1-1,3 (влияние плотности на урожай недостоверно)
Содержание влаги	0,7НВ

На умеренно обеспеченных влагой суглинистых почвах, влажность которых близка к нижнему пределу оптимальной (15%), плотность мало или совсем не влияет на урожайность ячменя; при подсыхании же почвы до засушливого состояния (10%) и при увлажнении её до верхнего предела оптимальной влажности (20 %) оптимальная плотность составляет соответственно 1,2 и 1,4 г/см<sup>3</sup>.

Верхним пределом оптимального диапазона почвенной влаги является наименьшая влагоемкость (НВ), нижним – влажность разрыва капилляров (ВРК). В этом диапазоне влага обладает значительной подвижностью, что делает возможным бесперебойное снабжение ею растений. В основе такого подхода к оценке почвенной влаги заложен определенный физический смысл, указывающий на наличие сил, удерживающих её в почве. Для получения высоких и устойчивых урожаев влажность почвы должна быть в пределах 70-85% от НВ (зерновые – 70%, овощи – 85%). По (С.А.Яковлеву, 1970) допустимо снижение влажности в активном слое на тяжелых почвах до 80-75% предельной полевой влагоемкости, на почвах среднего механического состава – 75-70%, на

легких почвах – 60-55%. Для фундука нижний порог влажности почвы составляет 80% от полевой влагоемкости для среднесуглинистых почв (Н.А.Тхагушев, Г.В.Иванова, 1980). По данным (Г.А.Гарюгин, 1979) рост урожая по мере повышения влажности почвы до оптимума увлажнения происходит в замедляющемся темпе. Максимальные прибавки урожая у всех культур наблюдали при изменении влажности с 60 до 70% от предельной полевой влагоемкости (ППВ). Прибавки же при изменении влажности с 70 до 80% и особенно с 80 до 90% были значительно меньше, чем в первом случае. Максимальные урожаи наблюдались при увлажнении 87,5-98,5% ППВ (в среднем: озимая пшеница – 96%, кукуруза – 92%, сахарная свекла – 91, горох – 97%). Г.А.Гарюгин (1979) делает вывод, что на данном этапе развития орошаемого земледелия регулировка влажности почвы на уровне с повышенным поливным порогом (85-90% ППВ) может оправдываться только в отдельных случаях – при высокой агротехнике, внесении больших доз удобрений и выращивании высокопродуктивных сортов. При влажности свыше ППВ происходило резкое снижение урожая всех изучаемых культур.

На почвах с оптимальными параметрами показателей плодородия в засушливые годы урожайность снижается на 15-20%, в то время как на почвах с низким содержанием элементов питания на 30-70%.

Сами величины оптимумов определяются комплексом свойств почв, так, например, оптимум содержания гумуса в значительной степени определяется механическим составом почв. Для зерновых культур на дерновых суглинистых почвах оптимум содержания гумуса составляет 1,9 – 2,3 %, для супесчаных – 1,5-1,9 %. Влияет на величину оптимума также и кислотность почвы, содержание элементов питания, так при рН=6,0 и содержании  $P_2O_5$  – 21,4 мг/100 г почвы оптимум содержания гумуса не превышает 1,8%.

Данных об оптимальном и минимальном допустимом уровне содержания гумуса в почвах Украины недостаточно. Окультуренные варианты песчаных почв Нечерноземной зоны Украины должны содержать не менее 2-2,5% гумуса; супесчаные – не менее 2,5-3%; критическое содержание гумуса в почвах 1,5%. Предварительные оптимальные параметры содержания гумуса в черноземах типичных лесостепной зоны составляют (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988): 5,5-6,0% (Левобережная Лесостепь); 4,5-5,0% (Центральная Лесостепь), 4,0-4,5% (Западная Лесостепь). По единичным данным оптимальный критический уровень содержания органического вещества составляет 3-5 %. Для сухой Степи необходимый минимум гумуса установлен пока только для орошаемых почв – 2,5%.

Для большинства сельскохозяйственных культур оптимальная реакция почвенного раствора находится в пределах 5,5-7,5 (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988), т.е. нейтральной или близкой к нейтральной. Оптимальное значение рН для дерново-подзолистых почв составляет 5,5, для серых лесных – 6,0 (табл.2.5).



Оптимальные фосфатные уровни разных подтипов черноземов в зависимости от биологических требований культур колеблются от 11 до 18 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988). Оптимум фосфатного питания тесно связан с предшественником. Для озимой пшеницы он более низкий после горохоовсяной смеси, что связано главным образом с улучшением соотношения в почве между азотом и фосфором.

Оптимизация фосфорного режима тесно связана с регулированием других элементов почвенного плодородия, и, прежде всего, с уровнем обеспеченности растений азотом (Б.С.Носко, А.А.Христенко, 1988). Фосфор действует более эффективно при оптимальном соотношении  $N-NO_3:P_2O_5$  в почвенном растворе. Повышению продуктивности севооборота способствует увеличение соотношений в почве между  $N-NO_3$  и  $P_2O_5$  от 1:2,8 до 1:8,1. При дальнейшем расширении этого соотношения растения ощущают недостаток в азоте.

В растительной продукции накапливается избыточное количество фосфора, не вступившего в процессы синтеза органических веществ, что в итоге приводит к снижению продуктивности.

Максимальная продуктивность севооборота на всех подтипах черноземов достигается при содержании подвижного фосфора 13-16 мг  $P_2O_5$  на 100 г почвы.

Оптимальное содержание подвижного калия колеблется в зависимости от почвы и культуры от 13 до 20 мг на 100 г почвы по Чирикову, в среднем 40 мг по Мачигину и до 30 мг по Масловой.

Оптимальные параметры азотного режима соответствуют в среднем 10 мг на 100 г почвы по Тюрину-Кононовой и 20 мг на 100 г почвы – по Корнфилду.

Оптимальные запасы в метровом слое минерального азота для основных сельскохозяйственных культур: зерновые колосовые – 240-260 кг; кукуруза на зерно – 270-280 кг; сахарная свекла – 280-300 кг.

Некоторые оптимальные свойства почв представлены в табл.2.5-2.9.

Природный потенциал почвы является комплексным показателем обеспеченности ресурсами тепла, влаги и трофности в пределах соответствующего типа почвообразования, а через них и продуктивной способности природных и культурных ценозов.

Оптимальные параметры плодородия необходимо определять с учетом уровней увлажнения и обеспеченности почвы азотом, фосфором и калием. Так, по данным В.В.Медведева и др. при условии оптимума тепла, только влажность может быть фактором, лимитирующим прирост урожая сахарной свеклы в условиях степи Украины, при нормализации увлажнения почвенные параметры не должны лимитировать урожайность. На богаре большое влияние на урожайность имеют агрохимические свойства почв. Так, во влажные годы фосфорно-калийные удобрения могут не дать достоверной прибавки урожая сахарной свеклы, а в засушливые урожайность может повышаться значительно и сахаристость

**Таблица 2.5.** Оптимальные параметры агрохимических свойств почв, обеспечивающие получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур (Оптимальные параметры..., 1984)

Свойства почв	Дерново-подзолистые			Торфяно-болотные	Пойменные заболоченные
	суглинистые	супесчаные	песчаные		
Содержание гумуса, %	2,5-3	2-2,5	1,8-2	-	3,4-4
Кислотность почвы, рН <sub>KCl</sub>	6,4-6,7	6-6,2	5,5-5,8	5,0-5,3	4,8-5
Степень насыщенности основаниями, %	80-90	70-80	50-60	75-85	70-80
Содержание подвижного фосфора, мг в 100 г почвы:					
по методу Кирсанова	25-30	22-26	18-20	60-100	8-12
по методу Эгнера-Рима	16-18	14-16	12-14	-	-
Содержание подвижного калия, мг в 100 г почвы:					
по методу Масловой	22-25	20-24	18-20	80-120	15-20
по методу Эгнера-Рима	20-22	15-20	10-20	-	-
Содержание подвижного магния, мг в 100 г почвы	10-12	8-9	7-8	100-120	6-8

также. В то время как азотные удобрения в засушливые годы могут привести к снижению урожая. В засушливые годы в прямом действии внесение навоза и минеральных удобрений сопровождается уменьшением прибавок урожая от органических удобрений более чем в 3 раза, от минеральных – почти в 2 раза. В переувлажненные и холодные годы органические удобрения и их сочетание с минеральными практически перестают существенно влиять на уровень прибавок урожая. Это связано с резкой заторможенностью процессов минерализации в почве органических удобрений и, как следствие, значительным уменьшением поступления в почвенный раствор питательных веществ. Минеральные удобрения, вносимые с органическими, в холодные годы в значительной части расходуются не на питание растений, а включаются в состав новообразующихся гумусовых веществ.

Вместе с тем органические удобрения в последствии, т.е. после их гумификации и вносимые на их фоне минеральные оказывают действие на стабилизацию уровней прибавок урожаев зерна в засушливые годы и даже несколько увеличивают их в переувлажненные и холодные. В результате этого в засушливые годы урожаи на этом фоне снижаются не более чем на 20%, а в переувлажненные и холодные – только на 3%. То есть, необходимо различать оптимумы для благоприятных и не благоприятных условий. Интегральная модель оптимальных свойств дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых почв представлена в табл.2.6.

**Таблица 2.6.** Интегральная модель оптимальных свойств дерново-подзолистых средне- и легкосуглинистых почв (Оптимальные параметры..., 1984)

Показатели, характеризующие состояние плодородия	Оптимальные значения параметров	Приемы, обеспечивающие оптимальные свойства почв	Нормативы затрат на изменения свойств почв
1	2	3	4
<b>Технологические свойства:</b>			
Контурность	топографический контур поля не менее 15-20 га	Мелиоративное и культурно-техническое воздействие	-
Эродированность	отсутствует, слабо выражена	Способы сева, обработка почвы, травопольные севообороты	-
Завалуненность	отсутствует, менее 10 м <sup>3</sup> /га	культурнотехнические работы, уборка камней	-
<b>Морфологические признаки:</b>			
мощность и характеристика верхних слоев почвы	пахотный горизонт 25-30 см, темно-серый; подзолистый отсутствует	органические удобрения, периодическое углубление пахотного слоя с известкованием	-
структурность	хорошо выражена: содержание водопрочных агрегатов размером более 0,25 мм – 70-80%	органические удобрения, известкование, наличие в севообороте многолетних трав	-
<b>Агрохимические свойства:</b>			
Гумус	2,0-2,5%; запас 60-70 т на 1 га; отношение Сг:Сф = 1,1-1,2	органические удобрения – 10-14 т на 1 га севооборотной площади, многолетние травы в севообороте – 12-20%	0,025-0,036% гумуса от 10 т навоза в зависимости от структуры посевных площадей
Содержание азота	доступные формы азота (NO <sub>3</sub> +NH <sub>4</sub> ): содержание 3,0 - 4,5 мг на 100 г почвы; запасы – 100-120 кг на 1 га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 50-60 кг с 1 га	на 1 га севооборотной площади: органические удобрения – 10-14 т; минеральные азотные удобрения – 90-100 кг; бобовые культуры	-
Запасы подвижных фосфатов	25-30 мг на 100 г почвы (по Кирсанову); 600-700 кг на 1 га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 50-60 кг с 1 га	органические, минеральные (фосфорные) удобрения с расчетом на создание положительного баланса	40-45 кг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> в виде удобрений для смещения содержания элемента на 1 мг в 100 г почвы
Запасы обменного калия	20-25 мг на 100 г почвы; 500-550 кг на 1 га; возможное потребление из почвенных ресурсов за вегетацию до 180-200 кг с 1 га	органические, минеральные (калийные) удобрения с расчетом на создание положительного баланса	60-70 кг K <sub>2</sub> O в удобрениях для смещения содержания элемента на 1 мг в 100 г почвы

1	2	3	4
Содержание микроэлементов, мг на 1 кг почвы	медь – 3-4, кобальт – 0,8-1,2; молибден – 0,2-0,4; бор – 0,5-0,6; цинк – 6-7	органические и микроудобрения	-
Содержание подвижного магния	10-12 мг на 100 г почвы; 200-250 кг/га	доломитизированные известняки	-
Реакция почвенного раствора	pH <sub>KCl</sub> 6,0-6,5; pH <sub>H2O</sub> 6,5 – 7,0; подвижный алюминий отсутствует; гидролитическая кислотность 1,5-2 мэкв на 100 г	известкование в расчете на нейтрализацию 0,75-1,0 гидролитической кислотности раз в 4-5 лет	от 1 т качественных известняковых материалов смещение pH в первый год на 0,15-0,2 на суглинистых почвах и на 0,2-0,35 на супесчаных
Состояние почвенного поглощающего комплекса	сумма поглощенных оснований 8-12 мэкв на 100 г; степень насыщенности 80-90%; соотношение поглощенных ионов Ca и K – 15-17	то же	-
Водно-воздушный режим	коэффициент использования годовых осадков 0,6-0,7; запас продуктивной влаги в слое 0-50 см к началу вегетации 130-150 мм; число дней в году с оптимальным увлажнением – 180-200. Объемная масса 1,1-1,2 г/см <sup>3</sup> ; порозность общая 50-55%; воздухоемкость 25-30%	органические удобрения; рациональная система обработки почв (своевременное сохранение и накопление влаги); снижение деформирующего воздействия сельскохозяйственных машин (переуплотнение почв)	-
Биологические свойства	высокая активность почвенных ферментов: инвертазы (более 1 мг глюкозы), полифенолоксидазы (свыше 3 мг пурпургалина), катазы (более 1,3 мл кислорода); низкая активность пероксидазы, высокая нитрификационная способность	органические и минеральные удобрения; известкование, обработка почвы, обуславливающая благоприятный водно-воздушный режим	-

На основе данных многолетних наблюдений о показателях выноса питательных элементов для каждой сельскохозяйственной культуры, В.В.Розанов (2008) определил оптимальные характеристики почвенных условий для формирования урожая ряда сельскохозяйственных культур

(табл.2.7). В табл.2.8-2.9 показаны некоторые оптимальные характеристики почв для различных растений.

Исследование зависимости уровня плодородия почв от почвенно-грунтовых показателей называют бонитировкой почв. Основная задача этих бонитировочных исследований – оценить плодородие почв в сопоставимых баллах, показывающих насколько одна почва хуже или лучше другой для отдельных сельскохозяйственных культур. Теоретической основой бонитировки почв является закон корреляции между свойствами почв и продуктивностью угодий. Те свойства и признаки почв, которые коррелируют с урожайностью, могут стать критериями бонитировки и их берут за основу при составлении шкал. При этом обязательно предусматривают как изучение естественных свойств почв, в том числе приобретенных в процессе окультуривания, так и анализ урожайности культур. Роль почвенных показателей в плодородии контролируют состоянием и многолетней урожайностью сельскохозяйственных культур, а их состояние, наоборот увязывают со свойствами и классификационным положением почв, климатическими и рельефными условиями, особенностями материнских пород.

На основе корреляционного анализа продуктивности почв и различных морфологических и аналитических показателей, характеризующих почвенные свойства В.Ф.Вальков (1989) установил коэффициенты уровня плодородия почв в зависимости от различных морфолого-генетических, химических и физических характеристик почв, а также условий их формирования (табл.2.10).

Для правильного размещения массивов садов необходимо учитывать также географическое распределение почв, рельефа, климатических условий культур и сортов. В разных частях территория Украины значительно различается по климату, почвам, рельефу и т.п. В пределах Украины выделяю 7 физико-географических подзон, пять равнинных почвенно-климатических зон и две почвенно-биоклиматические горные провинции – Карпаты и Крымские горы. Последние, в свою очередь, подразделяются на вертикальные зоны: в Карпатах – три, в Крыму – четыре.

В зоне Украинского Полесья распространены дерново-подзолистые песчаные и супесчаные почвы, сформировавшиеся на водно-ледниковых и древнеаллювиальных отложениях. Первые из них расцениваются как ограниченно пригодные, частично-средне пригодные для садоводства, а вторые – как хорошие.

В лесостепной зоне лучшими почвами для плодовых культур являются черноземы мощные мало- и средне- гумусные выщелоченные, оподзоленные и темно-серые оподзоленные, за ними идут серые и светло-серые оподзоленные почвы.

В степной зоне распространены черноземы обыкновенные и южные; в сухой степи – темно-каштановые. На всех этих почвах выращивать сады целесообразно при орошении.

**Таблица 2.7.** Требования сельскохозяйственных культур к почвенным условиям (В.В.Розанов, 2008)

Показатель	Рожь озимая	Пшеница озимая	Пшеница яровая	Ячмень	Овес	Гречиха	Горох	Картофель	Свекла (кормовая)
Предпочтительный гранулометрический состав	супесь	легкий суглинок	тяжелый суглинок	легкий суглинок	супесь	супесь	супесь	легкий суглинок	легкий суглинок
Оптимальный рН	5,5-7,2	6,6-7,5	6,0-7,3	6,1-7,2	5,0-7,5	4,7-7,5	6,5-7,0	5,3-8,0	5,0-5,8
Мощность профиля, обеспечивающая наивысший урожай	120	140	140	80	90	80	100	70	80
Минимально необходимое содержание гумуса, %	1,5-1,8	1,5-1,9	от 2	1,3-1,4	1,3-1,4	от 2	от 2	от 2	1,7-2,0
Содержание $P_2O_5$ , мг/100 г	7,5	8,5	10	8	8	9	15	12	10
Содержание $K_2O$ мг/100 г	12	11	15	10	13	13	15	15	14
Содержание в почве азота, мг/100 г	8	10	14	8	8	9	14	12	12
При планируемой урожайности	25	26	30	30	25	10	23	200	350

**Таблица 2.8.** Группировка сельскохозяйственных культур по их отношению к кислотности почвы (Рациональное использование...,1973)

Значение pH почвенного раствора в 1 н. KCl вытяжке	Группы культур				
	зерновые и зернобобовые	технические	овощные, корнеклубнеплоды, силосные	травы	плодово-ягодные
<b>I группа</b>					
pH 5,8-6,5. Растения, наиболее чувствительные к повышенной кислотности		свекла сахарная, конопля	свекла столовая, кормовая, капуста белокочанная, лук, чеснок, сельдерей	клевер красный, люцерна, донник, райграс, ежа сборная, костер	смородина
<b>II группа</b>					
pH 5,3-6,0. Растения, чувствительные к повышенной кислотности, хорошо отзываются на известкование	пшеница озимая и яровая, ячмень, горох, пелюшка	-	кукуруза, брюква, турнепс, огурцы, салат, капуста кормовая, цветная	вика, лисохвост, овсяница луговая, мятлик	яблоня, слива, вишня
<b>III группа</b>					
pH 4,5-6,0. Растения:					
а) менее чувствительные к повышенной кислотности, положительно отзывающиеся на известкование pH 4,8-5,7	овес, рожь, гречиха	-	-	тимофеевка	
б) трудно переносящие избыток кальция в почве, предпочитающие известкование в дозах не выше ¼ г.к.	лен		морковь, помидоры, подсолнечник	-	малина, земляника, крыжовник, груша
<b>IV группа</b>					
pH 4,5-6,0. Растения, переносящие повышенную кислотность, как правило, не нуждающиеся в известковании	-		щавель, картофель, люпин	сераделла	

**Таблица 2.9.** Количественные критерии оценки запасов продуктивной влаги под сельскохозяйственными культурами в разные периоды вегетации (В.Н.Просунко, 1998)

Показатели	Культуры		
	озимая пшеница, ранние яровые зерновые и зернобобовые, сахарная свекла, кукуруза	сахарная свекла, картофель	озимая пшеница, яровой ячмень, горох
Период вегетации	прорастание семян – начало интенсивного развития корневой системы	начало роста корнеплода; бутонизация – цветение картофеля	налив зерна
Слой почвы, см	0-20	0-50	0-100
Запасы влаги (мм):			
Недостаточные	<15	<30	<40
Удовлетворительные	15-20	30-40	40-80
Достаточные	21-25	41-60	81-100
Оптимальные	26-35	>60	>100

В горных зонах Крыма и Карпат лучшими для садоводства считаются более мощные разновидности бурых горно-лесных почв, сформировавшихся на элювии плотных некарбонатных пород – песчаников и сланцев. Сады на этих почвах выращивают только в нижних частях горной гряды, до высоты 600-800 м над уровнем моря. Выше климат более суров и для выращивания садов пригоден мало.

На Закарпатской низменности под сады используют дерновые, главным образом глееватые почвы. (П.Д.Попович и др., 1979)

В качестве критерия бонитировки используют и рентабельность выращиваемых растений в конкретных почвенно-климатических условиях. Рентабельность определяют как разность суммы чистого дохода за период плодоношения плодовых деревьев ( $\Sigma ЧД$ ) и капиталовложений на закладку и уход за насаждениями ( $K$ ), она должна обеспечивать накопление денежных средств в размере не менее 12% от суммы капиталовложений:

$$\Sigma ЧД - K \geq 0,12K.$$

Допустимые значения показателей физических свойств почв – это параметры физических свойств, изменение которых в результате деградационных процессов под влиянием антропогенных и природных факторов воздействия носят обратимый характер. Использование почв для продуктивного сельскохозяйственного производства сохраняется (И.В.Кузнецова и др., 2009).

Критические значения показателей физических свойств почв – это такие их величины, которые в результате деградационных процессов достигают условно необратимого уровня изменений всего комплекса физических свойств. Дальнейшее продуктивное использование почв нерационально (И.В.Кузнецова и др., 2009).

Оптимальной плотности пахотного слоя соответствуют оптимальные значения структуры порового пространства, обуславливающие оптимальный



водный и воздушный режим, легкое проникновение в почву корней растений и почвенной биоты. За критерий оптимальной плотности почвы принимается **Таблица 2.10.** Коэффициенты уровня плодородия почв (по В.Ф.Валькову, 1980)

Типы, подтипы, роды, виды и разновидности почв	Уровень плодородия садовых почв для	
	семечковых культур	косточковых культур
Механический состав: Содержание физической глины, %		
Почвы степного типа почвообразования, а также желтоземы и редзины		
Песок рыхлый	0,20	0,20
Песок связный	0,62	0,62
Супесь	0,80	0,80
Суглинок легкий	0,87	0,87
Суглинок средний	1,00	1,00
Суглинок тяжелый	1,00	1,00
Глина легкая	1,00-0,85	1,00-0,85
Глина средняя	0,83	0,83
Глина тяжелая	0,70	0,70
Почвы лесного типа почвообразования – серые лесные, серые лесостепные, бурые лесные		
Песок рыхлый	0,20	0,20
Песок связный	0,47	0,47
Супесь	0,70	0,70
Суглинок легкий	0,92	0,92
Суглинок средний	1,00	1,00
Суглинок тяжелый	1,00	1,00
Глина легкая	0,81- 0,75	0,81 - 0,75
Глина средняя	0,60	0,60
Глина тяжелая	0,45	0,45
Эродированность почв: Степень смытости черноземов:		
Несмытые	1,00	1,00
Слабая	0,84	0,85
Средняя	0,68	0,68
Сильная	0,59	0,63
Степень смыва лесных почв:		
Несмытые	1,00	1,00
Слабая	0,84	0,86
Средняя	0,74	0,69
Сильная	0,63	0,61
Типы почвообразующих пород		
Лесс	1,12	1,12
Лессовидные глины и суглинки	1,00	1,00
Лессовидные глины разнообр. происхождения	0,91	0,91
Третичные глины	0,19	0,19
Третичные супеси	0,40	0,40
Мочаковатость		
Немочаковатые почвы	1,00	1,00
Мочаковатые почвы	0,15	0,15
Степень естественной дренированности		
Лесные бурые и серые почвы, лессовидные почвы		
Дренированные почвы на склонах	1,00	1,00
Плоские водораздельные и террасовые участки	0,50	0,50

**Таблица 2.11.** Оценка изменения параметров физических свойств пахотных дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв с преобладанием процессов деградации при антропогенном воздействии (И.В.Кузнецова и др., 2009)

Показатель	Оптимум	Степень деградации			Значения	
		слабая	средняя	сильная	допустимые	Критические
Равновесная плотность, г/см <sup>3</sup>	1,2-1,3	1,3-1,4	1,4-1,5	1,5-1,6	1,3-1,5	>1,5
Общая пористость, %	48-60	48-46	46-42	42-38	48-42	<42
Пористость аэрации при НВ, %	15-20 (30)	15-10	10-6	6-3	15-6	<6
Содержание агрегатов 0,25-10 мм, %	70-85	70-60	60-50	50-40	70-50	<50
Содержание агрегатов >10мм, %	20-30	30-40	40-50	50-60	30-50	>50
Содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм, %	40-50	30-15	15-10	10-5	30-10	<10
Пористость агрегатов 5-7 мм, %	40-46	40-38	38-36	36-32	40-36	<36
Водопроницаемость, мм/мин по установленной скорости фильтрации	0,7-1,0	0,7-0,4	0,4-0,2	0,2-0,1	0,7-0,2	<0,2
Наименьшая влагоемкость, % от массы	28-30	28-26	26-24	24-22	28-24	<24
Содержание гумуса, %	2,5-3,0					
Мощность гумусного слоя, см	30-35					

интервал плотности, при котором наблюдается благоприятное для большинства культурных растений и почвенной биоты содержание в почве воздуха при насыщении ее водой до наименьшей влагоёмкости. Для ориентировочного определения интервалов оптимальной плотности в конкретных почвах и для конкретных культур предложена формула расчета (И.В.Кузнецова, 1990):

$$D_{оп} = (100-A)d_{тф}/100+Wd_{тф},$$

где  $D_{оп}$  – оптимальная плотность почвы, т/см<sup>3</sup>;  $A$  – верхняя или нижняя граница оптимального содержания воздуха в почве, % от объема;  $d_{тф}$  – плотность твердой фазы почвы, г/см<sup>3</sup>;  $W$  – наименьшая влагоёмкость почвы, % от массы.

На практике диапазон оптимальных значений плотности определяется по данным урожайности сельскохозяйственных культур в полевых условиях.

Пористость агрегатов является одним из диагностических показателей физического состояния почвы, определяющем, как водные свойства почвы, так и возможность проникновения в агрегаты корней растений и почвенной биоты. По пористости агрегатов можно судить о природе их водопрочности. Оптимальные значения пористости агрегатов пахотных дерново-подзолистых почв составляют 40-46%. Снижение пористости агрегатов в деградированных и особенно в переуплотненных почвах до 36-32% свидетельствует об углублении процессов деградации, переходе ее на агрегатный уровень и является устойчивым показателем переуплотнения почвы. Допустимые значения пористости агрегатов для дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почв составляют 36-40%, критические - <36% (И.В.Кузнецова и др., 2009).

Структурный состав почв является важной характеристикой физических условий плодородия почв, по которому также судят о степени деградации или окультуренности почвы (И.В.Кузнецова и др., 2009). Агрегатами агрономически ценного размера считаются структурные отдельности почвы размером от 10 до 0,25 мм. Такие агрегаты обуславливают более равномерную упаковку при обработке почвы, что приводит к созданию пахотного слоя с оптимальной структурой порового пространства, сочетающей крупные межагрегатные поры, по которым происходит фильтрация воды в почву и газообмен, а также поры среднего размера, удерживающие и проводящие почвенную влагу. Оптимальное содержание агрегатов агрономически ценного размера в дерново-подзолистых почвах должно составлять 70-85% ее структурного состава. Допустимые значения содержания агрегатов этого размера составляют <50-70%. Уменьшение содержания агрегатов данного размера ниже 50% (критические значения) ухудшает степень крошения почв при обработке, снижает устойчивость их к эрозии и уплотняющему воздействию сельскохозяйственной техники.

Содержание глыбистой фракции (>10 мм) при благоприятном (оптимальном) сложении пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв глыбистая фракция не должна превышать 20-30% (И.В.Кузнецова и др., 2009). Превышение этих значений свидетельствует об ухудшении физического состояния почв. Допустимые значения – 30-50%.

Содержание водопрочных агрегатов (>0,25 мм) является критерием для оценки и прогноза устойчивости сложения пахотного слоя во времени, его устойчивости к деградации физических свойств под влиянием природных и антропогенных факторов. Оптимальное содержание водопрочных агрегатов >0,25 мм в пахотном слое разных типов почв составляет 40-70 (80) %. Такое количество водопрочных агрегатов обеспечивает устойчивость сложения пахотного слоя почв во времени. В дерново-подзолистых почвах предел в 35-50% достигается при содержании 4% органического вещества, то есть только в высокоокультуренных почвах. Допустимые значения содержания водопрочных агрегатов в дерново-подзолистых почвах составляют 30-10%. Зависимость содержания водопрочных агрегатов (Y,%) от содержания органического вещества (X,%) в перегнойно-аккумулятивных и пахотных горизонтах дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах аппроксимируется следующей зависимостью (И.В.Кузнецова и др., 2009):

$$Y=9,8085X+15,156, R^2 = 0.7397.$$

Водопроницаемость почв определяет впитывание влаги выпадающих осадков и поливной воды в орошаемых условиях. Водопроницаемость почв оценивается по установившейся скорости фильтрации, которая отмечается через 4-6 ч после начала наблюдений. Оптимальные значения коэффициента фильтрации для дерново-подзолистых почв составляют 0,7-1,0 мм/мин (А.Г.Бондарев и др., 2006). Такой уровень фильтрации обеспечивает поступление воды в почву и отвод излишней гравитационной влаги в нижележащие горизонты. Допустимые её значения – 0,2-0,7, критические - <

0,2 мм/мин. При низких величинах фильтрации вода не успевает впитываться вглубь почвы, возникают и усиливаются процессы эрозии.

Наименьшая (полевая) влагоёмкость определяет водоудерживающую способность почвы, влагообеспеченность растений. Оптимальные значения наименьшей влагоёмкости для пахотного слоя дерново-подзолистых суглинистых почв составляют 28-30% от массы сухой почвы. Влагообеспеченность растений тесно связана с пористостью почв, ее плотностью (И.В.Кузнецова и др., 2009). Оптимальному значению влагообеспеченности соответствует содержание влаги в пахотном слое в пределах 80-100% от наименьшей влагоемкости и составляет 30-40 мм продуктивной влаги. Критические значения – 22-24%.

К основным факторам почвообразования относят такие как материнская порода, растительность и другие живые организмы, рельеф, высота местности, геологический возраст и климат. Климат как фактор почвообразования выступает в качестве двигателя энерго- и массообмена, направляет содержание, направление, качество, объемы почвообразования и способность формировать плодородие почвы. На основе исследований Г.Т.Селянинова, М.И.Будыко, В.Р.Волобуева, В.П.Дмитренко с соавторами (2005) предложили обобщенные характеристики зональных почвенных экосистем (табл.2.12).

Анализ почвенно-климатических связей позволил Н.И.Белоусовой с соавторами (2012) определить климатические параметры преимущественного развития общностей и групп почв (табл.2.13). В основу положены такие климатические характеристики как сумма температур воздуха, индекс континентальности климата по Конраду и коэффициент увлажнения по Мезенцеву (см. раздел. 2.2). Наибольшее количество общностей почв находится в узком интервале индекса континентальности – 60-70. С увеличением количества тепла (в двумерном климатическом пространстве) проявляется рост почвенного разнообразия. Однако увеличение теплообеспеченности сопровождается уменьшением размеров почвенных ареалов, за счет ограничения условий увлажнения и континентальности. Оптимальные условия почвообразования, реализуемые максимальным числом общностей почв, возникают преимущественно при умеренном увлажнении, в интервале коэффициента увлажнения (по Мезенцеву) 0,65-0,90. Уменьшение и увеличение увлажнения приводит к уменьшению почвенного разнообразия.

Дифференциация урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от разнообразия особенностей морфометрии склонов и почвенного покрова наглядно может быть представлена картографически (Н.П.Сорокина, Д.Н.Козлов, 2012) (рис.2.1-2.3).

Между влажностью почвы и урожаем ячменя отмечена значительная положительная зависимость (О.В.Залинский и др., 2000). С увеличением расчетного слоя почвы роль влажности в процес се формирования урожая становится все болем определяющей: если для слоя 0-10 см урожайность обеспечивается на 74% влажностью, то для слоя 20-40 см – на 80%.

**Таблица 2.12.** Обобщенные характеристики зональных почвенных экосистем (В.П.Дмитренко и др. 2005)

Природная зона по ландшафтным, почвенным и климатическим признакам	Характеристика флоры и фауны	Особенности горных пород	Ведущие черты выветривания и гумификации	Годовые характеристики климата					Характеристики почвы	
				Продолжительность солнечного сияния	Температура воздуха, оС	Количество осадков, мм	Сумма температур или ГТК	Индекс сухости	Запасы гумуса, т/га	Запасы NPK, т/га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
I. Бореальная, почвы тундры (бурые)	травянистая растительность со слабо развитой корневой системой, преобладают мхи и лишайники	послетретичные моренные и морские отложения	слабые, значительная аккумуляция грубого и кислого гумуса, вечная мерзлота ниже 0,5-1 м	900-1200	-2- -18	100-500	60-700	≤0,4	70	
II. Лесная, почвы подзолистые Лесотундра	тайга со слабым подлеском и бедной травяной растительностью. Кроты, червяки, насекомые и др.	моренные отложения, грубые малоизмененные	достигают максимума одновременно, в почвах аккумулируются Fe, Cl <sub>2</sub> O, S <sub>2</sub> O, Ca <sub>2</sub> O и другие соли, выносимые из горизонта С	1200-1600	8-19				100	6,6
Тайга				1200-1400		600-750	700-1200	0,4-1,1		
Смешанные леса				1300-1500		675-850	1200-1600	0,6-1,0		
				1400-1600		650-800	1600-2200	0,6-1,0		
III. Лесостепная	лиственные леса с развитым подлеском и значительные степные поляны с развитым травяным покровом. Фауна смешанная между II и IV зонами	моренные отложения, выветренные, слабо лессовидные	имеют сменный характер. Горизонт В выделен оригинальной ореховидной структурой и серо-подзолистым цветом	1600-2300	0-22					
Почвы сероземы Светлые				1600-2000		300-800		0,8-1,2	70-80	12,0
Типичные темные				1800-2300		650-600	2200-2400	≥1,0	130	7,5

Продолжение табл.2.12.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		
IV.Степная, черноземы	преимущественно злаки с хорошо развитой корневой системой, на целине образуется плотная дернина. Байбаки, тушканчики, мыши, червяки, насекомые и др.		значительная аккумуляция нейтрального и мало-растворимого гумуса. Выщелачивание слабое, при разложении образуются цеолиты. Железо остается в почве, карбонаты выщелачиваются, сульфаты и хлориды выносятся из горизонта С	1600-2600	0-2	300-700	0,7-1,0	1,1-2,3				
Выщелоченные				1600-2000							26,5	
Типичные				1800-2300								35,8
Обыкновенные				2100-2600								17,0
V. Сухие степи	редкие невысокие травы серого цвета, отсутствие дернины. Фауна смешана между IV и V зонами	известковые и гипсоносные глины, а также соленосные каспийские отложения	выщелачивание. Процессы предидущей зоны ослаблены. Аккумулируются наряду с карбонатами еще и сульфаты. Выносятся только хлориды и им подобные. Структура почвы плотная.	2100-3100	0-24	100-800	0,5-0,7	2,0-2,4	70-100			
Светло-каштановые				2100-2500								
Темно-каштановые				2400-2800								
Бурые				2700-3000								

**Таблица 2.13.** Климатические параметры преимущественного развития общностей и групп почв (Н.И.Белоусова и др., 2012)\*

Температура, °С	Индекс континентальности по Конраду					Коэффициент увлажнения по Мезенцеву				
	<50	50-60	60-70	70-80	>80	<0,4	0,4-0,65	0,65-0,9	0,9-1,4	1,4-1,8
<1100	1 общность Al-Fe-гумусовых почв (1)					1 общность Al-Fe-гумусовых почв (1)				
1100-1500	4в	1, 2, 4а, 5	1, 4а, б, 5	2	1		1, 4а, 2, 5	1, 2, 4а, б, 5	2	
1500-1800		4а, б, 5, 6	5, 6	6, 7	7		4а, б, 5, 6, 7	5, 6	2, 5, 6	
1800-2000 (2100)		5, 6, 2		7	7	7	6, 7	6		
>2000 (2100)				7	7					

\* Общности и группы почв: 1 - Al-Fe-гумусовых, 2 – дерново-подзолистых, 4 – буроземных: а – дерново-буроземных кислых, б – дерново-буроземных слабонасыщенных и насыщенных, в – бурых лесных кислых; 5 – серых лесных; 6 – черноземных, 7 – каштановых.

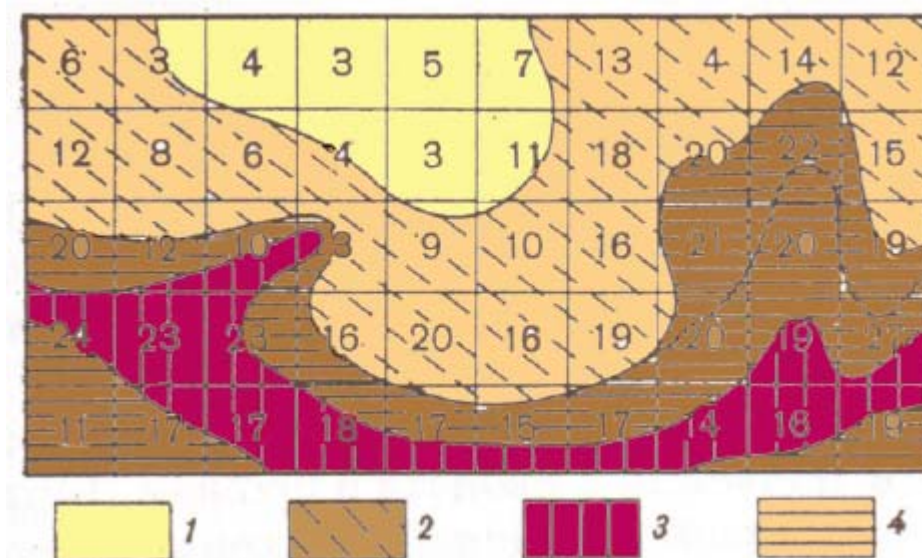


Рис. 2.1. Урожай зеленой массы подсолнечника (кг/м<sup>2</sup>) в зависимости от микрорельефа в год с недостаточным увлажнением: 1 – микроповышение; 2 – основная поверхность; 3 – днище западины; 4 – склон западины (Н.П.Сорокина, Д.Н.Козлов, 2012)

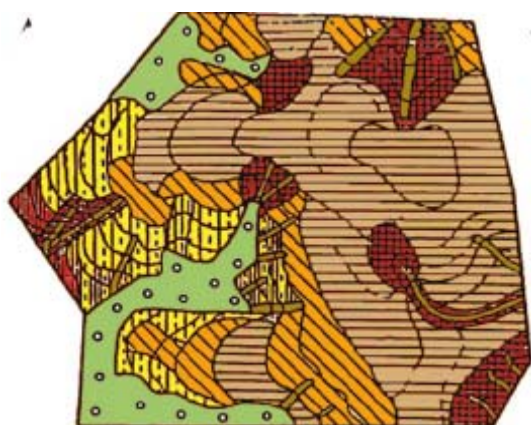


Рис. 2.2. Фрагмент карты комбинаций почвенных выделов с учетом эродированности и оглеенности (Н.П.Сорокина, Д.Н.Козлов, 2012)

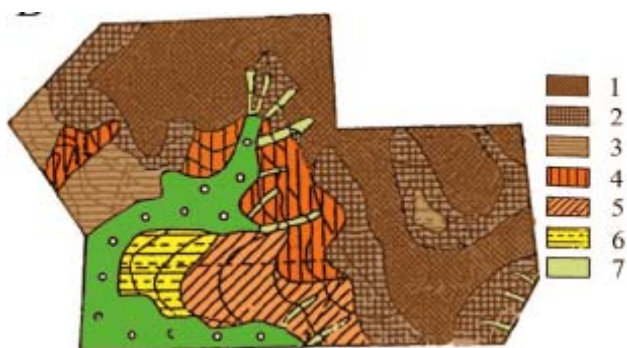


Рис.2.3. Урожайность пшеницы в год с недостаточным увлажнением: 1- >45 ц/га; 2 – 40-45 ц/га; 3 – 35-40 ц/га; 4 – 30-35 ц/га; 5 - 25-30 ц/га; 6 – 20-25 ц/га; 7 - <20 ц/га (Н.П.Сорокина, Д.Н.Козлов, 2012)

Установлена зависимость урожайности ячменя от плотности сложения почвы и общих показателей запасов влаги для слоёв мощностью 0-40 и 0-100 см:

Для 0-40 см:



$$Y_1 = 76,47 + 0,139 \cdot 10^{-3} X_1 - 104,13 X_2 + 36,3 X_2^2;$$

Для 0-100 см:

$$Y_2 = 72,85 - 0,187 \cdot 10^{-4} X_1 - 97,73 X_2 + 33,70 X_2^2.$$

где  $X_1$  – влагозапасы в соответствующих слоях почвы ( $\text{м}^3/\text{га}$ );  $X_2$  – средневзвешенная плотность сложения соответствующих слоев почвы ( $\text{г}/\text{см}^3$ ).

Урожай гречи можно определить по следующей зависимости (А.В.Аверчев, 2001):

$$Y = 4,4 + 0,263 X_1 + 0,144 X_2 + 0,047 X_3 + 0,028 X_4,$$

где  $X_1$  – промедление с посевом (сроки посева), дней;  $X_2$  – глубина рыхления почвы, см;  $X_3$  – доза удобрений, кг/га;  $X_4$  – ширина междурядий, см.

Зависимость урожайности яровой пшеницы ( $Y$ , т/га) от агрохимических свойств чернозема выщелоченного аппроксимируется следующим уравнением (Н.В.Абрамов, Е.В.Салова, 1997):

$$Y = -1,03 + 3,69 X_1^{0,07} X_2^{0,05} X_3^{0,06}, R^2 = 0,86,$$

где  $X_1$  – нитратный азот, мг/кг;  $X_2$  – подвижный фосфор, мг/100 г;  $X_3$  – обменный калий, мг/100 г.

Согласно (Н.В.Абрамов, Е.В.Салова, 1997) при повышении содержания в почве нитратного азота, начиная с минимального его значения и любых неизменных других агрохимических свойств чернозема выщелоченного продуктивность пшеницы увеличивается. Увеличение подвижного фосфора и обменного калия также оказывает положительное влияние на урожайность пшеницы. При содержании в почве 10,0 мг/кг нитратного азота, 25 мг/100 г подвижного фосфора, 26,0 мг/100 г обменного калия урожай пшеницы достигает наибольшего значения, равного 5,16 т/га. Наименьшее значение урожая наблюдается при минимальном содержании питательных веществ в почве. Интенсивность роста урожайности по нитратному азоту достигает наибольшего значения при минимальном содержании в почве нитратного азота и максимальном содержании подвижного фосфора и обменного калия (Н.В.Абрамов, Е.В.Салова, 1997).

## 2.2. Погодные и климатические особенности территории

Растения создают органическое вещество при поглощении листьями  $\text{CO}_2$  из атмосферы и корнями воду и минеральные вещества из почвы в процессе фотосинтеза под действием энергии солнечной радиации. Одновременно происходит транспирация, ответственная за обеспечение растений водой и элементами минерального питания, а также регулирование теплового режима растений (А.М.Польвий, 2009). В зависимости от интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР), водного и температурного режимов, скорости ветра, концентрации  $\text{CO}_2$  в воздухе, плодородия почв и видовых особенностей растений процесс фотосинтеза может проходить с большей или меньшей интенсивностью.

**Показатели засушливости климата.** Для оценки сухости климата и определения засушливых и сухих периодов широкое распространение получил гидротермический коэффициент Г.Т.Селянинова (1930) (К):

$$K = \frac{\sum X}{\sum t:10},$$

где X- сумма осадков; t – сумма температур выше 10°C.

Засушливым периодом считается период с K ниже 1, к сухому же периоду относят время с K ниже 0,5.

Комплексным численным показателем условий погоды, учитывающем влажностный и термический режим является показатель засушливости или увлажненности территории Д.А.Педя (1975) (S):

$$S = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R},$$

где S – показатель засушливости (увлажненности);  $\Delta T$  и  $\Delta R$  – аномалии среднемесячных значений температуры воздуха, °C и атмосферных осадков, мм;  $\sigma_T$  и  $\sigma_R$  – среднеквадратические отклонения температуры воздуха, °C и осадков, мм.

По Д.А.Педю (1975) засуха характеризуется величиной  $S \geq 1$ , при значениях S от +1,1 до +2 засуха характеризуется как умеренная, при S от +2,1 до +3 – как средняя, при S больше 3 – как сильная. При значениях  $S \leq -1,0$  отмечается увлажнение, в том числе от -1 до -2 – умеренное, от -2,1 до -3 – среднее, меньше -3 сильное.

Для характеристики засушливости климата используют также показатель коэффициента увлажненности (Ю.И.Жиганов, 1977), являющийся отношением годового количества осадков к годовой испаряемости, рассчитываемой по формуле:

$$E_m = 0,0018(25+t)^2(100-a),$$

где  $E_m$  – испаряемость за месяц, мм; t – средняя температура месяца, град; a – средняя относительная влажность воздуха за месяц.

По величине коэффициента годового увлажнения выделяют следующие зоны по степени засушливости: избыточно влажная (влажные леса) – 1,5; достаточно влажная (умеренно влажные леса) 1,0-1,49; умеренно влажная (лесостепь) – 0,60-0,99; недостаточного увлажнения (степь) – 0,30-0,59; скудного увлажнения (полупустыня) - 0,13-0,29; ничтожного увлажнения (пустыня) – 0,13.

Для характеристики природных процессов также применяют радиационный индекс сухости (М.И.Будыко, 1956) представляющий отношение годовой суммы радиационного баланса тепла, необходимого для испарения, к годовой сумме осадков, этот показатель, дающий представление о балансе теплоты и влаги, характеризует географическую зональность земного шара, типы водного режима почв, особенности баланса, режима грунтовых вод и т.д. Здесь северная граница пустынной зоны определяется величиной радиационного индекса сухости равного 1,8, сухостепной зоны (каштановые почвы) – 1, степной зоны (черноземные почвы) – 0,8. Севернее располагается Нечерноземная зона, для которой характерны серые лесные и дерново-подзолистые почвы.

Условия увлажнения также характеризуют индексом сухости (М.И.Будыко, 1971), равным отношению испаряемости к годовой сумме осадков, испаряемость рекомендуют определять комплексным методом.

Если индекс сухости менее 0,45 – условия увлажнения избыточно влажные, при 0,45-1,00 – влажные, 1,00-3,00 – недостаточно влажные, более 3,0 – сухие.

Индекс сухости Будыко (ИС) также представляют следующим образом:

$$ИС = \frac{0,18 \sum_{T > 10^{\circ}C} T}{r_{I-XII}}$$

Коэффициент увлажнения Чиркова (КУ) характеризует влагообеспеченность агроэкосистем при естественном увлажнении с учетом увлажненности почвы в холодную пору года:

$$КУ = \frac{0,5R_{X-III} + R_{IV-VIII}}{0,18 \sum_{IV-VIII} T},$$

где  $\sum R$  – сумма осадков;  $\sum T$  – сумма активных температур (выше 10°C) температур.

По Д.И.Шашко (1967) естественная производительность климата наиболее полно отражается значениями показателя увлажнения, вычисленного по отношению годовых осадков к дефициту влажности воздуха, так как растения потребляют не только влагу осадков периода вегетации, но и влагу, остающуюся в почве от предшествующих посеву периодов. Величина этого показателя увлажненности равная 0,45 соответствует полосе сбалансированных годовых осадков и испарения (северная граница лесостепи), величина менее 0,15 – полосе, где земледелие без орошения нерационально (зона пустынь и полупустынь), величина более 0,45 характеризует влажную и избыточно влажную зоны. При 0,45-0,35 – лесостепь, 0,35-0,25 – полузасушливая, 0,25-0,15 – степь.

Гидротермический коэффициент (отношение годовой суммы осадков, за вычетом стока, к испарению) в зоне избыточного увлажнения более 1,2, в зоне неустойчивого увлажнения – 1,2-0,8, в зоне недостаточного увлажнения – менее 0,8.

Для характеристики аридности климата также используют индекс засушливости Мартоини (Грани гидрологии, 1987):

$$a = P / (10 + T),$$

где  $P$  – среднегодовые осадки, мм;  $T$  – среднегодовая температура воздуха, °C.

Для аридных зон  $a < 15$ . Этот индекс не учитывает суточную и сезонную изменчивость температуры воздуха в аридных зонах.

Степень аридности определяют также (Грани гидрологии, 1987) по соотношению слоя средних годовых осадков к потенциальной эвапотранспирации: при отношении меньшем 0,03 – гипераридная зона, при 0,03-0,20 – аридная зона, при 0,20-0,50 – полуаридная зона.

Показатель влажности климата Д.В.Воробьева ( $W$ , мм/град):

$$W = R / T - 0,0286T$$

где  $R$  – сумма месячного количества осадков за месяцы со средней температурой более  $0^{\circ}\text{C}$ , мм;  $T$  – сумма положительных температур воздуха за безморозный период,  $^{\circ}\text{C}$ .

Континентальность климата можно определить по Д.В.Воробьеву (1961) как разницу средних температур самого теплого и самого холодного месяцев года,  $^{\circ}\text{C}$ .

Коэффициент континентальности климата по Конраду ( $K_k$ ) определяется как:

$$K_k = \frac{1,7A}{\sin(\varphi + 10)} - 14,$$

где  $A$  – годовая амплитуда температур воздуха;  $\varphi$  – широта пункта.

Увлажненность местности можно определить по коэффициенту Н.Н.Иванова ( $K$ ):

$$K = \frac{\sum O}{0,0018(25 + T)^2(100 - R)},$$

где  $O$  – сумма осадков за период не менее месяца, мм;  $T$  – средняя температура за этот период,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $R$  – средняя относительная влажность воздуха за этот же период, %.

Коэффициент увлажнения Мезенцева ( $K_u$ ) рассчитывается как:

$$K_u = \frac{R}{0,2 \sum T_{10} - 306},$$

где  $R$  – годовая сумма осадков;  $\sum T_{10}$  – сумма активных температур (температур за период со среднесуточной температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$ ).

Биоклиматический показатель Патерсона  $CVP$  (climate-vegetation productivity Paterson's coefficient):

$$CVP = T_1 NGE / T_2 3600,$$

где  $T_1$  – средняя температура самого теплого месяца,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $T_2$  – амплитуда температур самого теплого и самого холодного месяца,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $N$  – годовое количество осадков, мм;  $E$  – коэффициент эвапотранспирации (суммарное испарение воды растениями и поверхностью почвы);  $G$  – продолжительность периода с температурой  $7^{\circ}\text{C}$  и выше, дней.

При  $CVP < 200$  – потенциал низкий; 200-299 - средний; 300-399 - высокий; 400-599 – очень высокий;  $CVP > 600$  - наивысший.

На рис. 2.4 приведенные данные о средней тепло- и влагообеспеченности (ГТК) территории Украины, рассчитанные за период 1961-2000 гг.

**Биологическая продуктивность климата.** Повышение уровня использования биологического потенциала культуры возможно только при целенаправленном процессе формирования её продуктивности, с учетом фактических или прогнозируемых метеорологических ресурсов в течение всего вегетационного периода. В этом аспекте изучение агроклиматической обеспеченности формирования урожаев сельскохозяйственных культур имеет важное и практическое значение. Структура агроклиматических ресурсов территории представлена на схеме (рис.2.5).

В основу агроклиматического районирования, оценки и рационального использования почвенно-климатических ресурсов положен такой показатель как биоклиматический потенциал территории (БКП).

БКП рассчитывается по формуле:

$$\text{БКП} = K_{\text{увл}} \frac{\sum t^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}}{10^3}$$

где БКП – биоклиматический показатель продуктивности (баллы);  $K_{\text{увл}}$  – коэффициент увлажнения, показывающий обеспеченность культуры влагой за период вегетации (он колеблется от 0 до 1,0);  $\sum t^{\circ} > 10^{\circ}\text{C}$  – сумма температур более  $10^{\circ}\text{C}$ , за период вегетации;  $10^3$  – сумма температур ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) на границе открытого земледелия.



**Рис. 2.4. Средняя тепло- та влагообеспеченность (по ГТК) территории Украины, рассчитанная за период 1961-2000 гг. (Національна доповідь, 2007). Здесь ГТК - характеризует соотношение суммы осадков и суммы температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  за вегетационный период. Засушливые условия имеют место при ГТК  $<1,0$ ; сухие - при ГТК  $<0,5$**

Переход от баллов БКП к урожайности осуществляют на основе использования коэффициента ( $\beta$ ), соответствующего определенному уровню использования фотосинтетически активной радиации (ФАР). Урожайность тогда равна:  $У = \beta \cdot \text{БКП}$ .



**Рис. 2.5. Структура агрометеорологических ресурсов (А.О.Шевченко, I.M.Пластун, С.О.Трибель, 1998)**

Коэффициент  $\beta$  рассчитывают по результатам экспериментальных исследований или теоретически определенным урожаям.

В роли климатического фактора, ограничивающего продуктивность культуры, как правило, выступает теплообеспеченность. Сумма температур  $1000^{\circ}\text{C}$  является границей, ниже которой возделывание культур в открытом грунте практически исключено. В районах, где данный показатель значительно

выше, определение продуктивности по тепловым ресурсам производят по гидротермическому показателю (ГТП, баллы) по формуле:

$$\text{ГТП} = 0,46K_{\text{увл}} T_{\text{вег}},$$

где  $T_{\text{вег}}$  – период вегетации (декады);  $K_{\text{увл}}$  – рассчитывают конкретно для каждого места произрастания культуры (поля, участка, луга, леса и др.).  $K_{\text{увл}}$  определяют из отношения фактических ресурсов влаги ( $W$ ) к ресурсам энергии, расходуемой на испарение по формуле:

$$K_{\text{увл}} = \frac{T_u W}{10^4 \sum Q},$$

где  $T_u$  – коэффициент скрытой теплоты испарения, равный 586 ккал/кг, или 2453 кДж/кг;  $W$  – влагообеспеченность посевов, выраженная как продуктивная для растений влага, накапливаемая за период роста и развития растений (мм/га);  $\sum Q$  – суммарная ФАР, приходящая на посевы за период вегетации (кДж/см<sup>2</sup>).

Продуктивная для растений влага ( $W$ ) складывается, в основном, из двух параметров: влаги, накапливаемой в слое почвы 0-100 см (он может меняться по культурам) за осенне – зимне-весенний период ( $W_o$ ) и количества осадков ( $O_c$ ), выпадаемых за весенне-летний период вегетации:

$$W = W_o + O_c. \quad (*)$$

В тех районах, где пашня (сельскохозяйственное угодье) используется круглый год,  $W_o$  определяют к моменту посева, а  $O_c$  за период от посева до уборки культуры. В формулу (\*) могут быть также включены влагозапасы, поступающие из грунтовых вод ( $W_2$ ) при близком их залегании. На орошаемых землях одной из дополнительных статей баланса является оросительная норма.

Продуктивность пашни (земли, естественных кормовых угодий) по ГТП рассчитывают по формуле:

$$Y = (22\text{ГТП}-10)K_m,$$

где  $K_m$  – доля основной продукции в общей биологической массе (в долях от 1,0).

Урожай сухой биомассы ( $Y_{\text{биом}}$ ) определяется без  $K_m$ :

$$Y_{\text{биом}} = (22\text{ГТП}-10).$$

Оценку продуктивности земли также проводят по биогидротермическому потенциалу ( $K_e$ , баллы) продуктивности, который включает в себя водный режим растений и суммарную ФАР, что складывается на поле или в естественных фитоценозах за период вегетации культуры (растительности) или группы культур в пожнивных и поукосных посевах, а также при круглогодичном использовании земли. Здесь вместо  $K_{\text{увл}}$  используют данные продуктивных запасов влаги, формирующихся от посева до уборки культуры, а суммарная ФАР – как следствие энергетического теплового баланса посева или растительного покрова. Взаимодействие комплекса этих факторов в конкретных климатических условиях позволяет с высокой точностью оценить продуктивность природных ресурсов. Оно описывается формулой:

$$K_e = \frac{WT_{\text{вег}}}{8,6 \sum Q}$$

где 8,6 – постоянное число, когда  $\sum Q$  выражается в кДж/см<sup>2</sup>, если  $\sum Q$  выражают в ккал/см<sup>2</sup>, то используют коэффициент 36.

Величину урожайности сухой биомассы определяют по выше приведенной формуле. Если рассчитывают урожайность товарной продукции, то формула выглядит следующим образом:

$$U_T = \beta K_e K_m.$$

Продуктивность земли также принято оценивать по приходу фотосинтетически активной радиации (ФАР). На 90-95% биомасса растений состоит из органических веществ, которые образуются в процессе фотосинтеза из углерода, водорода и кислорода. Лишь 5-10% приходится на долю питательных веществ, вносимых различными удобрениями. В связи с этим минеральное питание необходимо организовывать так, чтобы посеы (агрофитоценозы) и естественные угодья обеспечивали максимальное использование БКП с оптимальными показателями фотосинтетической деятельности растений. Оценку почвенно-климатических ресурсов осуществляют через потенциальную урожайность ( $U_{пу}$ ), которая может быть получена при благоприятном сочетании факторов почв и климата.

$$U_{пу} = 10^4 \eta K_m \frac{\sum Q}{q},$$

где  $\eta$  – коэффициент использования ФАР, %;  $q$  – калорийность, или теплотворная способность биомассы, кДж/кг.

Оценку продуктивности земли по естественной влагообеспеченности проводят по формуле:

$$U_{биол} = \frac{100W}{K_w},$$

где  $K_w$  – биологический коэффициент влагопотребления растения, является величиной постоянной для данной культуры в конкретной зоне.

Для условий Украины оценку и районирование биоклиматического потенциала при естественном и оптимальном увлажнении с учетом микроклимата в условиях сложного рельефа проведена З.А.Мищенко и Н.В.Кирнасовской (2005). За основу здесь принята физико-статистическая модель расчета биоклиматического потенциала (БКП) Д.И.Шашко (1985) с последующим усовершенствованием ее для региональной оценки биоклиматического потенциала на территории Украины в условиях сложного рельефа. Алгоритм расчета следующий.

Биологическую продуктивность климата крупной территории с разным сочетанием тепла и влаги в межзональном разрезе можно оценить по формуле:

$$БКП = K_p \frac{\sum T_c > 10^{\circ}C}{1000^{\circ}C}$$

где  $\sum T_c > 10^{\circ}C$  - сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации в данном месте;  $1000^{\circ}C$  – базисная сумма температур воздуха для сравнения с продуктивностью на границе возможного полевого земледелия;  $K_p$  – коэффициент роста, определяется по формуле вида:



$$K_p = 1,5 \lg(20Md) - 0,21 + 0,63Md - Md^2,$$

где  $Md$  – показатель атмосферного увлажнения. При значении  $Md \approx 0,50$  создаются оптимальные условия для влагообеспеченности растений. Относительно этих условий  $K_p$  принимает значение единицы.

Условный показатель увлажнения рассчитывается по формуле:

$$Md = \frac{\sum P}{\sum (E - e)}$$

где  $\sum P$  – сумма осадков за год (мм);  $\sum (E - e)$  – сумма дефицита влажности воздуха за год (гПа).

Сравнительная оценка (в баллах) биологической продуктивности (Бк) относительно средней для страны продуктивности климата выполняется по формуле:

$$Бк = K_p \frac{\sum T_c \cdot 100}{1900^\circ C} = 55БКП$$

где  $1900^\circ C$  – базисная сумма средних суточных температур воздуха соответствующая средней биологической продуктивности южно-таежной зоны для сравнения со средней по стране продуктивностью климата; 55 – коэффициент пропорциональности, рассчитанный по соотношению базисных сумм температур воздуха  $1000^\circ C$  и  $1900^\circ C$  и выраженный в процентах.

Для оценки биоклиматического потенциала в пределах ограниченных территорий со сложным рельефом используются переходные коэффициенты для определения суммарной радиации на северных и южных склонах крутизной 5, 10, 15, 20°. Переходные коэффициенты представляют собой отношение сумм суммарной солнечной радиации на искомом склоне (за конкретный месяц или за весь теплый период) к сумме суммарной радиации на горизонтальной поверхности в виде:

$$K_Q = \frac{\sum Q_c}{\sum Q}$$

Тогда значения  $\sum Q_c$  на искомом склоне определяется по формуле:

$$\sum Q_c = \sum Q \times K_Q.$$

С учетом изложенного выше оценка микроклиматической изменчивости биоклиматического потенциала на склоновых землях проводится по формуле:

$$БКП_c = K_p \frac{\sum T_c > 10^\circ C}{1000^\circ C} K_Q,$$

$$Б_{kc} = 55БКП_c K_Q,$$

где  $БКП_c$ ,  $Б_{kc}$  – биоклиматический потенциал в относительных значениях и в баллах на склоне конкретной экспозиции и крутизны.

Комплексное районирование территории Украины по биоклиматическому потенциалу, проведенное З.А.Мищенко и Н.В.Кирнасовской (2005), представлено на рис.2.5. На карте выделено 8 макрорайонов. Высокая продуктивность климата имеет место в западных регионах Украины, охватывающих частично Львовскую, Ивано-Франковскую и Черновицкую

области, относящихся к лесостепной зоне с достаточным увлажнением. Самые большие значения биоклиматического потенциала наблюдаются в Закарпатье с особым местным климатом на равнинных и склоновых землях. Значительная часть северных и центральных регионов страны, относящихся к лесостепи и частично к северной степи, имеют среднюю и повышенную биологическую продуктивность климата. В степной зоне на востоке и на юге выделена территория с пониженной продуктивностью климата. Далее к югу за счет значительного увеличения ресурсов тепла продуктивность климата возрастает. При продвижении в горы биологическая продуктивность климата снижается за счет существенного уменьшения с высотой местности ресурсов тепла. В табл.2.14 представлена количественная оценка основных показателей биологической продуктивности климата макрорайонов представленных на рис.2.6.

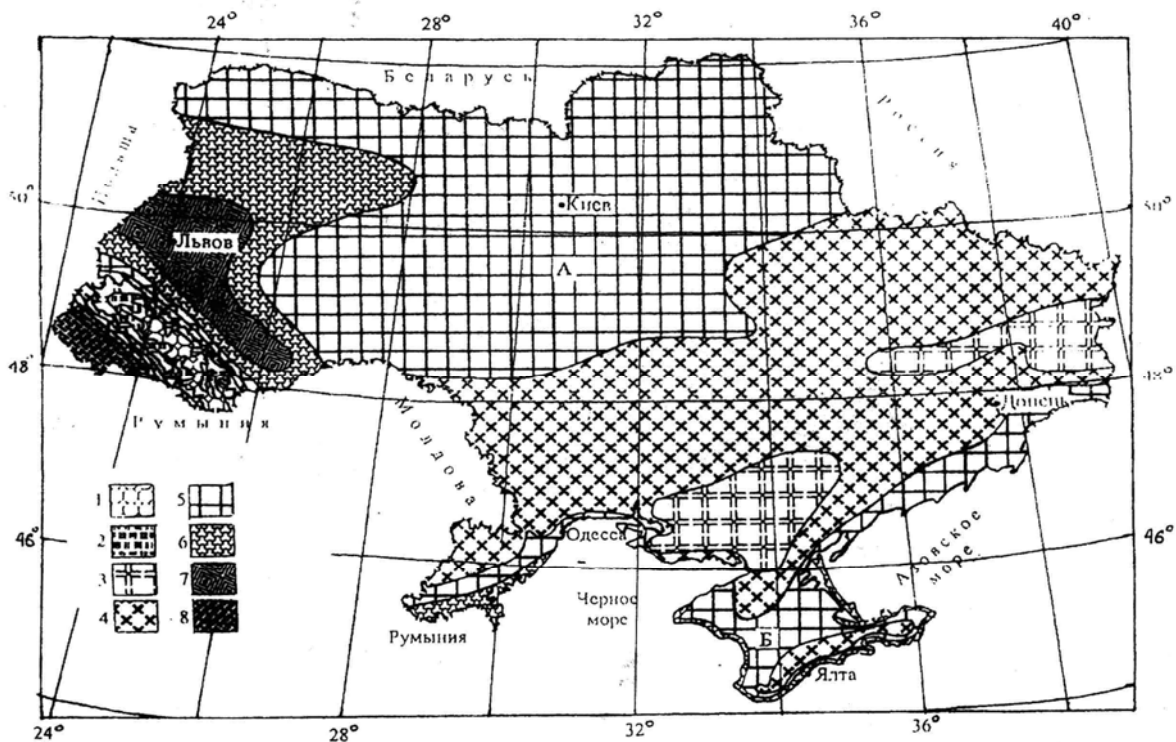
Недобор урожая за счет несоответствия климатических условий потребностям выращиваемых культур в течение вегетационного периода имеет зональное распределение. Так, для зерновых культур в Полесье он составляет 14-20%, в Лесостепи – 15-25% и в Степи – 18-24% (Клімат України, 2003).

По данным (Л.М.Попитченко, 2005) агроклиматические условия вегетации озимой пшеницы в Луганской области обеспечивают 68-76% максимальной урожайности, по сравнению с 1965-1985 гг. они уменьшили свой потенциал на 9-13%.

В земледелии Украины лимитирующими факторами агрометеорологических ресурсов чаще всего являются те, что формируются за счет таких элементов погоды, как температура и осадки. Установлено, что отклонение среднемесячной температуры от оптимальных значений её на 1°C, количества осадков – на 20-30 мм существенно влияют на рост и продуктивность большинства культивируемых в Украине сельскохозяйственных культур и эффективность агротехнических мероприятий.

Исходя из концепции изучения и рационального использования агрометеорологических ресурсов конкретного года и опираясь на биологические законы земледелия, определены принципы типизации основных показателей погодных условий, которые определяют продуктивность фитоценозов. Определены 7 типов погодных условий (табл.2.15-2.18) (А.О.Шевченко, В.М.Просунко, 1998) по таким показателям:

- 1) средняя месячная температура воздуха;
- 2) даты устойчивого перехода среднесуточной температуры через 0, 5 и 10°C весной и осенью;
- 3) сумма осадков за месяц;
- 4) гидротермический коэффициент по месяцам теплого периода года;
- 5) запасы продуктивной влаги в разных слоях почвы и под разными сельскохозяйственными культурами;
- 6) продолжительность бездождевых периодов.



**Рис. 2.6. Комплексное районирование биоклиматического потенциала и его показателей по территории Украины при естественном увлажнении (по З.А.Мищенко и Н.В.Кирнасовской, 2005): биологическая продуктивность климата 1 – очень низкая, 2- низкая, 3 – пониженная, 4 – средняя, 5 – повышенная, 6 – умеренно-высокая, 7 – высокая, 8- очень высокая**

Самым изменчивым показателем является сумма осадков за период. Считается, что чем изменчивей агрометеорологический фактор, тем весомей его влияние на процесс формирования элементов продуктивности и урожайности.

Изменчивость межфазных периодов растет от посева к периоду кущения - выхода в трубку. То есть продолжительность межфазных периодов изменяется преимущественно в первую половину вегетации, а после выхода в трубку растений она более стабильна.

Исследования взаимосвязи продуктивности (урожайности) культурных растений, изменчивости длительности их фаз вегетации в течение периода существования растения с погодно-климатическими особенностями территории показали (М.М.Наумов, 2007), что основное влияние на развитие растений оказывают соотношение тепла и влаги, также выявлено, что биологическое время растения имеет свойство растягиваться и сжиматься в зависимости от напряженности агрометеорологических факторов.

Напряженность агрометеорологических факторов определяется разностью действительно существующих условий на текущий момент времени с оптимальными условиями для роста и развития растения.

**Таблица 2.14.** Региональная оценка общей биологической продуктивности климата при естественном увлажнении на Украине (по З.А.Мищенко и Н.В.Кирнасовской, 2005)

Макрорайон	Б <sub>к</sub> , баллы	БКП	$\sum T_c > 10^\circ C$	Md	K <sub>p</sub>	$\sum X$
1.Очень низкая	≤100	≤1,80	1000-1600	0,9-1,4	0,75-0,30	1000-1400
2.Низкая	100-110	1,80-2,00	1500-1900	0,8-1,0	0,82-0,62	850-1100
3.Пониженная	110-120	1,98-2,18	2000-3400	0,21-0,75	0,58-0,82	450-850
4.Средняя	120-130	2,18-2,35	2700-3350	0,24-0,38	0,70-0,85	450-570
5.Повышенная	130-140	2,35-2,54	А)2400-3000 Б)3250-3450	0,35-0,45	0,83-0,95	А)550-700 Б)350-650
6.Умеренно-высокая	140-150	2,54-2,70	А)2420-2600 Б)3400-3900	0,50-0,60	0,98-1,0	А)600-750 Б)300-600
7.Высокая	150-160	1,72-2,90	2400-2550	0,52-0,73	1,0-0,85	680-850
8.Очень высокая	≥160	≥2,9	3000-3300	0,60-0,85	1,0-0,80	800-1000

**Таблица 2.15.** Типизация погодных условий по среднемесячной температуре воздуха, °С. (А.О.Шевченко, В.М.Просунко, 1998)

Месяц	Тип погодных условий						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Январь	>0	0 - -2	-2,1 - -4	-4,1- -6	-6,1- -8	-8,1--10	<-10
Февраль	>0	0 - -2	-2,1 - -4	-4,1- -6	-6,1- -8	-8,1--10	<-10
Март	>3	2,1-3	1,1 - 2	0,1-1	0,0 - -1	-1,1- -2	<-2
Апрель	>12	11,1-12	10,1-11	9,1-10	8,1 - 9	7-8	<7
Май	>19	18,1-19	17,1-18	16,1-17	15,1-16	14-15	<14
Июнь	>23	22,1-23	21,1-22	20,1-21	19,1-20	18-19	<18
Июль	>25	24,125	23,1-24	22,1-23	21,1-22	20-21	<20
Август	>24	23,1-24	22,1-23	21,1-22	20,1-21	19-20	<19
Сентябрь	>20	19,1-20	18,1-19	17,1-18	16,1-17	15,0-16	<15
Октябрь	>10	9,1-10	8,1-9	7,1-8	6,1-7	5,1-6	<5
Ноябрь	>6	5,1-6	4,1-5	3,1-4	2,1-3	1,0 - 2	<1
Декабрь	>5	3,1-5	1,1-3	-1,0-1	-1,1- -3	-3,1- -5	<-5

Исследования показывают (к примеру, Н.В.Крнасівська, 2009), что на территории центральной Украины кукуруза на зерно использует природные ресурсы на 80-90%, а в Хмельницкой и Винницкой обл. только на 58-62%.

При переходе от качественного описания агроэкосистем к нормированным методам управления продукционным процессом возникает необходимость учитывать количественные параметры управляемых факторов, то есть оптимально использовать элементы агроценоза, которые в фактических условиях окружающей среды могут обеспечить максимальную урожайность.

**Агроэкологические категории урожайности.** Наиболее активное отображение агроклиматических ресурсов может быть реализовано в агроэкологических категориях урожайности (Л.Е.Божко, 2006), которые основываются на принципах максимальной продуктивности и соответствия условий внешней среды обитания потребностям растений.

**Таблица 2.16.** Типизация погодных условий по сумме осадков за месяц, мм. (А.О.Шевченко, В.М.Просунко, 1998)

Месяц	Тип погодных условий						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Январь	>110	91-110	71-90	51-70	31-50	10-30	<10
Февраль	>110	91-110	71-90	51-70	31-50	10-30	<10
Март	>85	71-85	56-70	41-55	26-40	10-25	<10
Апрель	>115	96-115	76-95	56-75	36-55	15-35	<15
Май	>165	136-165	106-135	76-105	46-75	15-45	<15
Июнь	>170	141-170	111-140	81-110	51-80	20-50	<20
Июль	>180	151-180	121-150	91-120	61-90	30-60	<30
Август	>180	151-180	121-150	91-120	61-90	30-60	<30
Сентябрь	>170	141-170	111-140	81-110	51-80	20-50	<20
Октябрь	>210	171-210	131-170	91-130	51-90	10-50	<10
Ноябрь	>110	91-110	71-90	51-70	31-50	10-30	<10
Декабрь	>110	91-110	71-90	51-70	31-50	10-30	<10

**Таблица 2.17.** Типизация погоды по продолжительности солнечного сияния (часы). (А.О.Шевченко, В.М.Просунко, 1998)

Месяц	Тип погодных условий						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Март	≥206	205-176	175-146	145-116	115-86	85-56	≤55
Апрель	≥261	260-230	229-199	198-168	167-137	136-106	≤105
Май	≥336	335-304	303-272	271-240	239-208	207-176	≤175
Июнь	≥342	341-309	308-276	275-243	242-210	209-177	≤176
Июль	≥351	350-319	318-287	286-255	254-223	222-191	≤190
Август	≥335	334-305	304-275	274-245	244-215	214-185	≤184
Сентябрь	≥282	281-248	247-214	213-180	179-146	145-112	≤111
Октябрь	≥236	235-203	202-170	169-137	136-104	103-71	≤70

**Таблица 2.18** Типизация погоды по датам устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха. (А.О.Шевченко, В.М.Просунко, 1998)

Тип погодных условий	Дата устойчивого перехода среднесуточной температуры (°C) через							
	0°C	5°C	10°C	15°C	15°C	10°C	5°C	0°C
I	27.02 и раньше	9.03 и раньше	5.04 и раньше	5.05 и раньше	1.09 и раньше	25.09 и раньше	21.10 и раньше	3.11 и раньше
II	28.02-5.03	10-18.03	6-10.04	6-12.05	2-9.09	26.09-2.10	22-31.10	4-11.11
III	6-10.03	19-25.03	11-15.04	13-19.05	10-17.09	3-10.10	1-10.11	12-19.11
IV	11-15.03	26.03-1.04	16-20.04	20-26.05	18-25.09	11-18.10	11-19.11	20-27.11
V	16-20.03	2-9.04	21-25.04	27.05-2.06	26.09-3.10	19-26.10	20-28.11	28.11-5.12
VI	21-25.03	10-17.04	26-30.04	3-9.06	4-12.10	27.10-3.11	29.11-7.12	6-13.12
VII	26.03 и позднее	18.04 и позднее	1.05 и позднее	10.06 и позднее	13.10 и позднее	4.11 и позднее	8.12 и позднее	14.12 и позднее

С целью управления продукционным процессом выделены следующие важнейшие категории урожайности (А.О.Шевченко, А.С.Азаренкова, 1998):

Потенциальная урожайность- урожайность, лимитированная только поступлением ФАР и биологическими особенностями культуры, обусловленными количеством поглощения солнечной энергии.

Климатически обеспеченная урожайность – потенциальная урожайность, лимитированная действием метеорологических факторов.

Действительно возможная – климатически обеспеченная урожайность, которую можно получить на конкретном поле с учетом его плодородия.

Абсолютно максимальная урожайность – количество продукции, которую можно получить при оптимальных параметрах основных элементов продуктивности.

Биологически возможная урожайность – количество продукции, которую можно получить при сочетании максимальных параметров основных элементов продуктивности необходимых для агроценоза в конкретном природно-климатическом регионе.

Достигнутая максимальная – фактическая урожайность, полученная в конкретном природно-климатическом регионе в годы с наиболее благоприятным сочетанием погодных факторов, почвенных условий и технологии возделывания.

Биологическая – фактически сформировавшаяся урожайность.

Хозяйственная – собранная и сданная на хранение или переработку продукция.

Потенциальную урожайность можно определить по формуле (О.К.Медведовский, П.І.Іваненко, 1988):

$$Y_{п} = (Q_{ФАР} \times 10^2 / q \times C) \times K_{ф} \times K_{т},$$

где  $Y_{п}$  – потенциальная урожайность, ц/га основной продукции;  $Q_{ФАР}$  – суммарная ФАР, что поступает на посеы за вегетационный период;  $q$  – энергетическая ценность органического вещества урожая, МДж/кг (табл.2.19);  $C$  – содержание сухого вещества в основной продукции, ед. (табл.2.19);  $K_{ф}$  – коэффициент полезного действия фотосинтеза, ед;  $K_{т}$  – коэффициент товарности урожая, ед.

Потенциальную урожайность для проса можно определить по Д.И.Колоскову (предложено для условий Казахстана):

$$R = \frac{H_a - (Q + A)}{T},$$

где  $R$  – урожайность проса;  $H_a$  – сумма осадков за холодный период плюс первые три месяца вегетации;  $Q$  – поверхностный сток;  $A$  – физическое испарение;  $T$  – транспирационный коэффициент.

В работе (М.В.Лісовий и др., 2008) приводится информация по природной и потенциальной урожайности зерновых культур (без кукурузы) для различных агропроизводственных групп почв Украины (табл.2.20). Природную урожайность определяли на контрольных вариантах (без внесения удобрений), а потенциальную – на вариантах с внесением органических и минеральных удобрений. Природная урожайность зависит от гранулометрического состава

**Таблица 2.19.** Содержание энергии в урожае сельскохозяйственных культур

Культуры	Содержание общей энергии в 1 кг сухого вещества		Средний коэффициент содержания сухого вещества
	МДж	ккал	
Пшеница озимая (зерно)	19,13	4568,3	0,86
Рожь (зерно)	19,43	4654,9	0,86
Ячмень (зерно)	19,13	4568,9	0,86
Овес (зерно)	18,8	4490,1	0,86
Просо (зерно)	19,7	4705,0	0,86
Гречка (зерно)	19,38	4628,6	0,86
Рис (зерно)	18,59	4439,9	0,86
Горох (зерно)	20,57	4912,8	0,86
Соя (зерно)	20,57	4912,8	0,86
Кукуруза:			
- зерно	17,60	4203,5	0,86
-зеленая масса	16,39	3914,5	0,25
Сахарная свекла	18,26	4361,1	0,14
Кормовые корнеплоды	16,39	3914,5	0,25
Подсолнечник:			
- семена	19,38	4628,6	0,92
- зеленая масса	16,80	4012,4	0,25
Картофель	18,29	4368,3	0,20
Овощи	14,36	3429,7	0,10
Люцерна на сено	21,83	5213,8	0,25
Многолетние травы на сено	18,91	4516,4	0,20
Однолетние травы на сено	16,39	3914,5	0,20
Лугопастбищные травы	16,19	3866,7	0,20
Зернофуражные культуры на зеленый корм	15,40	3678,1	0,30

почвы, содержания гумуса и подвижных веществ, оглеености, эродированности и т.п.

С.М.Свидерская (2007) приводит блочную модель формирования агроэкологического уровня потенциальной урожайности сельскохозяйственной культуры. Она состоит из 5 блоков: 1) блок входной информации; 2) блок показателей солнечной радиации; 3) блок функций влияния фазы развития на продукционный процесс растений; 4) блок плодородия почвы; 5) блок агроэкологического уровня потенциальной урожайности.

Блок входной информации состоит из данных стандартных метеорологических и агрометеорологических наблюдений и содержит в себе все необходимые для выполнения расчетов характеристики: среднюю декадную температуру воздуха, среднее за декаду количество часов солнечного сияния, сумму осадков за декаду, количество дней в расчетной декаде, информацию о балле почвенного бонитета и содержания гумуса в почве.

**Таблица 2.20.** Продуктивность основных агропроизводственных групп почв Украины (М.В.Лісовий и др., 2008)

Название агрогруппы почвы, гранулометрический состав	Площадь, га	Природная урожайность, ц/га	Потенциальная урожайность, ц/га
1	2	3	4
<b>Дерново-подзолистые и дерновые неоглеенные почвы на песчаных отложениях:</b>			
Песчаные	37780	16,6	33,1
глинисто-песчаные	209022	18,7	33,3
Супесчаные	280164	20,8	34,0
легкосуглинистые	1984	22,9	34,9
<b>Дерново-подзолистые глееватые почвы на песчаных и супесчаных отложениях:</b>			
песчаные	24797	14,3	30,8
глинисто-песчаные	133694	15,6	30,7
супесчаные	163625	17,9	31,1
легкосуглинистые	2247	19,7	31,7
<b>Дерново-подзолистые и подзолисто-дерновые глеевые:</b>			
песчаные	19802	11,2	32,7
глинисто-песчаные	103032	13,6	31,3
супесчаные	187708	15,9	31,0
легкосуглинистые	31804	18,2	31,4
среднесуглинистые	16470	20,1	32,1
<b>Светло-серые и серые лесные:</b>			
супесчаные	169328	23,1	33,5
легкосуглинистые	339038	25,7	35,1
среднесуглинистые	253512	28,3	36,8
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	74663	30,8	38,6
<b>Светло-серые и серые лесные слабосмытые:</b>			
супесчаные	16840	23,1	33,5
легкосуглинистые	339038	25,7	35,1
среднесуглинистые	253512	28,3	36,8
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	74663	30,8	38,6
<b>Темно-серые оподзоленные и слабодеградированные:</b>			
супесчаные	51704	22,3	31,4
легкосуглинистые	292601	25,1	33,2
среднесуглинистые	191471	27,3	35,2
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	201504	30,8	37,3
<b>Темно-серые оподзоленные и черноземы оподзоленные глеевые:</b>			
супесчаные	14175	19,1	28,1
легкосуглинистые	159217	21,5	29,5
среднесуглинистые	123925	23,9	31,1



Продолжение таблицы 2.20

1	2	3	4
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	57459	26,3	32,8
Черноземы типичные среднегумусные:			
легкосуглинистые	104	28,4	35,2
среднесуглинистые	13409	31,5	37,7
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	226394	34,7	40,3
Черноземы типичные и черноземы сильноэродированные сильноосмытые:			
легкосуглинистые	23118	19,9	28,4
среднесуглинистые	27400	22,1	29,7
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	19123	24,3	31,3
Черноземы обыкновенные мало гумусные неглубокие и их остаточные и слабо солонцеватые разности:			
легкосуглинистые	2401	23,8	30,6
среднесуглинистые	44216	26,8	32,9
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	413218	29,8	35,3
Черноземы южные и их слабо- и остаточные-солонцеватые разности			
легкосуглинистые	33385	24,6	30,4
среднесуглинистые	195635	27,8	32,9
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	1014691	30,7	35,4
Темно-каштановые солонцеватые почвы в комплексе с солонцами (10-30%):			
легкосуглинистые	12027	20,0	23,7
среднесуглинистые	41587	22,5	25,8
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	15261	25,0	28,0
Темно-каштановые вторично-солонцеватые:			
легкосуглинистые	10989	21,1	24,6
среднесуглинистые	4320	22,5	25,8
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	3591	25,0	28,0
Лугово-каштановые солонцеватые в комплексе с солонцами (30-50%):			
легкосуглинистые	163	14,4	17,7
тяжелосуглинистые и легкоглинистые	698	16,0	19,0

Блок показателей солнечной радиации. Для расчета интенсивности суммарной солнечной радиации используется формула С.И.Сивкова:

$$Q_o^j = 12,66(SS^j)^{1,31} + 315(A^j + B^j)^{2,1},$$

где  $Q_o$  – суммарная солнечная радиация, которая приходит на горизонтальную поверхность, кал/(см<sup>2</sup>д);  $SS$  – среднее за декаду количество часов солнечного

сияния;  $j$  – номер расчетной декады;  $A$  и  $B$  – промежуточные характеристики, которые определяются в зависимости от широты местности и склонения Солнца.

Блок функций влияния фазы развития на продуктивный процесс растений. В основе продуктивного процесса растений лежит фотосинтез. Его интенсивность обуславливается фазой развития растений и условиями окружающей среды. Для расчета онтогенетической кривой фотосинтеза используется формула:

$$a_{\phi}^j = \exp \left[ -a_{\phi} \left( \frac{TS_2 - \sum t_1}{10} \right)^2 \right],$$

где  $a_{\phi} = \frac{-100 \ln a_{\phi}^0}{(\sum t_1)^2}$  – онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн.ед.;  $a_{\phi}^0$  – начальное значение онтогенетической кривой фотосинтеза, отн.ед.;  $\sum t_1$  – сумма эффективных температур воздуха от всходов, при которой наблюдается максимальная интенсивность фотосинтеза растений, °С;  $TS_2$  – сумма эффективных температур (эффективная температура – это разница между средней суточной температурой и биологическим нулем данной культуры), °С.

Блок плодородия почвы. Плодородие почвы здесь характеризуют содержанием в ней гумуса:

$$F_{G_{um}} = \frac{G_{um}}{G_{um,opt}},$$

где  $F_{G_{um}}$  – отношение содержание гумуса в почве к величине оптимальной для выращивания сельскохозяйственной культуры, отн.ед.;  $G_{um}$  – содержание гумуса в почве, %;  $G_{um,opt}$  – содержание гумуса в почве, которое обеспечивает высокий уровень урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от типа почв, %.

Функция влияния содержания гумуса в почве определяется по формуле О.С.Образцова, для расчета обеспеченности растений элементами минерального питания

$$FW_{G_{um}} = (F_{G_{um}})^{1,35} \exp[1,1(1 - F_{G_{um}})],$$

где  $FW_{G_{um}}$  – функция влияния содержания гумуса в почве на формирование урожая, отн.ед.

Блок агроэкологической категории урожайности – потенциальной урожайности. Увеличение потенциальной урожайности общей биомассы за декаду определяется в зависимости от интенсивности фотосинтетической активной радиации (ФАР) и биологических особенностей культуры с учетом изменения способности растений к фотосинтезу на протяжении вегетации, а также плодородия почвы:

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = a_{\phi}^j \frac{\eta Q_{ФАР}^j dv^j}{q} B_{nl} FW_{G_{um}} 10,$$

где  $\frac{\Delta ПУ}{\Delta t}$  - прирост потенциальной урожайности общей биомассы за декаду, г/(м<sup>2</sup>дек);  $a_{\phi}$  – онтогенетическая кривая фотосинтеза, отн.ед.;  $\eta$  – коэффициент полезного действия посевов, отн.ед.;  $Q_{\phi AP}$  – средняя декадная сумма ФАР за сутки, ккал/(см<sup>2</sup>д);  $B_{пл}$  – балл почвенного бонитета (балл плодородия почвы), отн.ед.;  $q$  – калорийность сельскохозяйственной культуры, ккал/г; 10 – размерный коэффициент.

Уровень потенциального урожая хозяйственной – полевой части урожая (зерна, корнеплодов, клубнеплодов) при его стандартной влажности определяется по выражению:

$$ПУ_{хоз} = ПУ \cdot K_{хоз}^{ПУ} \cdot v_{хоз}$$

где  $ПУ_{хоз}$  – потенциальный урожай хозяйственно-полевой части урожая при его стандартной влажности, ц/га;  $K_{хоз}^{ПУ}$  - часть хозяйственно-полевой части урожая в общей массе потенциального урожая, отн.ед.;  $v_{хоз}$  – стандартная влажность хозяйственно-полевой части урожая (зерна, корнеплодов, клубнеплодов), отн.ед.

Повышение уровня ПУ обеспечивается главным образом путем селекции новых сортов, которые будут иметь высший уровень урожайности за счет эффективного использования солнечной радиации.

Значительное влияние на формирование урожая оказывает солнечная энергия. Принята такая группировка урожаев сельскохозяйственных культур в зависимости от степени использования ФАР (%) (А.О.Шевченко, А.С.Азаренкова, 1998): обычный – 0,5-1,5%, хороший – 1,5-3,0%, рекордный – 3,0-5,0%, теоретически возможный – 6,0-8,0.

Процесс фотосинтеза происходит при определенных ограничениях температуры. Некоторые виды сельскохозяйственных культур начинают синтезировать органическое вещество при среднесуточной температуре воздуха выше 5°С. Большинство растений способны к интенсивному образованию органического вещества только при среднесуточной температуре воздуха выше 10 °С (В.С.Зыбалов, 2001). Для некоторых представителей хвойных пород (сосна, ель) минимальная температура для фотосинтеза составляет -2-3°С. Лишайники могут фотосинтезировать при температуре -25°С (М.М.Мусієнко, 2006). Для большинства растений оптимальный интервал температур для фотосинтеза составляет 20-25 °С.

На географических широтах Украины в период со среднесуточной температурой выше 5°С на поверхность земли ФАР поступает от 40 ккал/см<sup>2</sup> в Зоне Полесья, до 46 ккал/см<sup>2</sup> в зоне Степи, за период со среднесуточной температурой выше 10°С – соответственно 39 и 40 ккал/см<sup>2</sup>. Рассчитано, что в условиях Украины такое количество поступления ФАР при 5%-ом её использовании может обеспечить биологическую урожайность абсолютно сухого вещества 400-600 ц/га, что эквивалентно 160-240 ц/га сухого зерна.

Среднегодовое поступление ФАР в период вегетации озимой пшеницы составляет 29-32 ккал/см<sup>2</sup> и может обеспечивать урожайность зерна от 85-95 ц/га при 3%-ном до 200-235 ц/га при 7% ном коэффициенте полезного действия

ФАР (табл.2.21). Подсчитано, что в процессе вегетации сельскохозяйственные растения могут использовать до 2% ФАР, однако в производственных условиях КПД ФАР обычно составляет 0,5-1%. В табл.2.22 представлены биологическая продуктивность при 1% использовании ФАР и фактическая урожайность зерновых культур.

**Таблица 2.21.** Потенциальная урожайность зерна озимой пшеницы в природно-климатических зонах Украины при разных уровнях использования ФАР (А.О.Шевченко, А.С.Азаренкова, 1998)

Природно-климатические зоны	Среднегодовое поступление ФАР за вегетационный период, ккал/см <sup>2</sup>	Потенциальная продуктивность, ц/га в зависимости от использования ФАР, %		
		3 (хорошая)	5 (рекордная)	7 (теоретически возможная)
Степь	32	95	160	235
Лесостепь	31	90	155	220
Полесье	29	85	145	220

**Таблица 2.22.** Биологическая продуктивность при 1% использовании ФАР и фактическая урожайность зерновых яровых культур, ц/га (по В.С.Зыбалу, 2001)

Агроклиматическая зона	Биологическая продуктивность		Урожайность фактическая		КПД ФАР, %
	абсолютно сухого вещества	потенциальная урожайность	абсолютно сухого вещества	зерна	
Горно-лесная	58,0	34,0	18,0	10,5	0,3
Северная лесостепная	66,2	38,5	23,2	13,5	0,35
Южная лесостепная	72,3	42,0	23,2	13,5	0,32
Степная	77,3	45,0	19,4	11,3	0,25

Определено, что биологический потенциал районированных и перспективных сортов озимой пшеницы может реализовать до 5% поступления ФАР в условиях Украины и в отдельные годы сформировать урожайность на уровне 180-200 ц/га. Научное обеспечение технологии выращивания озимой пшеницы и методы управления продукционными процессами с учетом неуправляемых факторов окружающей среды дают возможность реализовать биологический потенциал районированных и перспективных сортов на 50-65%. При этом уровень использования поступления ФАР превышает 3%.

Рост плотности потока падающей на зеленый листок фотосинтетически активной радиации приводит к росту интенсивности фотосинтеза (А.М.Польвий, 2009). Максимальный фотосинтез наблюдается при плотности потока падающей на зеленый лист ФАР более 200-250 Вт/м<sup>2</sup> и температуре воздуха 25°С. При понижении температуры воздуха интенсивность фотосинтеза

уменьшается. В условиях высокоуровня влагообеспеченности, когда запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы составляют 0,75 наименьшей влагоемкости, оптимальная для фотосинтеза температура находится в диапазоне 25-30°C. При ухудшении условий влагообеспеченности, когда запасы продуктивной влаги в почве снижаются до 0,40 наименьшей влагоемкости, наблюдается смещение температурного оптимума в бок меньшего уровня. При дальнейшем уменьшении запасов влаги в почве до 0,25 наименьшей влагоемкости сильно возрастает устьичковое сопротивление, что приводит к понижению температурного оптимума до 15°C. Изменение скорости ветра влияет на фотосинтез зеленого листка через сопротивление пограничного слоя, а также через смену температуры листка. Интенсивность фотосинтеза существенно изменяется при увеличении скорости ветра только при невысоких его значениях. Интенсивность фотосинтеза увеличивается при увеличении скорости ветра до 2-3 м/с. Это повышение интенсивности фотосинтеза достигает 25-27 мгСО<sub>2</sub>/(дм<sup>2</sup>год) при температуре воздуха 25°C. Такая же тенденция наблюдается и при температуре воздуха 10 °C. Дальнейшее увеличение скорости ветра значительно меньше влияет на интенсивность фотосинтеза зеленого листка.

С повышением температуры увеличивается скорость гидролиза запасного белка и крахмала эндосперма и скорость накопления сухой массы (А.М.Полевий, 2008). При повышении температуры до 20°C всходы появляются раньше, но масса ростков меньше, чем когда температура почвы 12 °C.

Чистую продуктивность фотосинтеза можно определить как (Л.Ю.Божко, 2007) отношение суточного прироста сухой биомассы растений к средней площади листьев в пересчете на 1 м<sup>2</sup>:

$$F=(B_2-B_1)/0,5(L_1-L_2)n,$$

где  $B_2$ ,  $B_1$  – масса растений в конце и в начале декады, г;  $n$  – количество дней в декаде;  $L_1$  и  $L_2$  – площадь листьев в начале и в конце декады, м<sup>2</sup>/га.

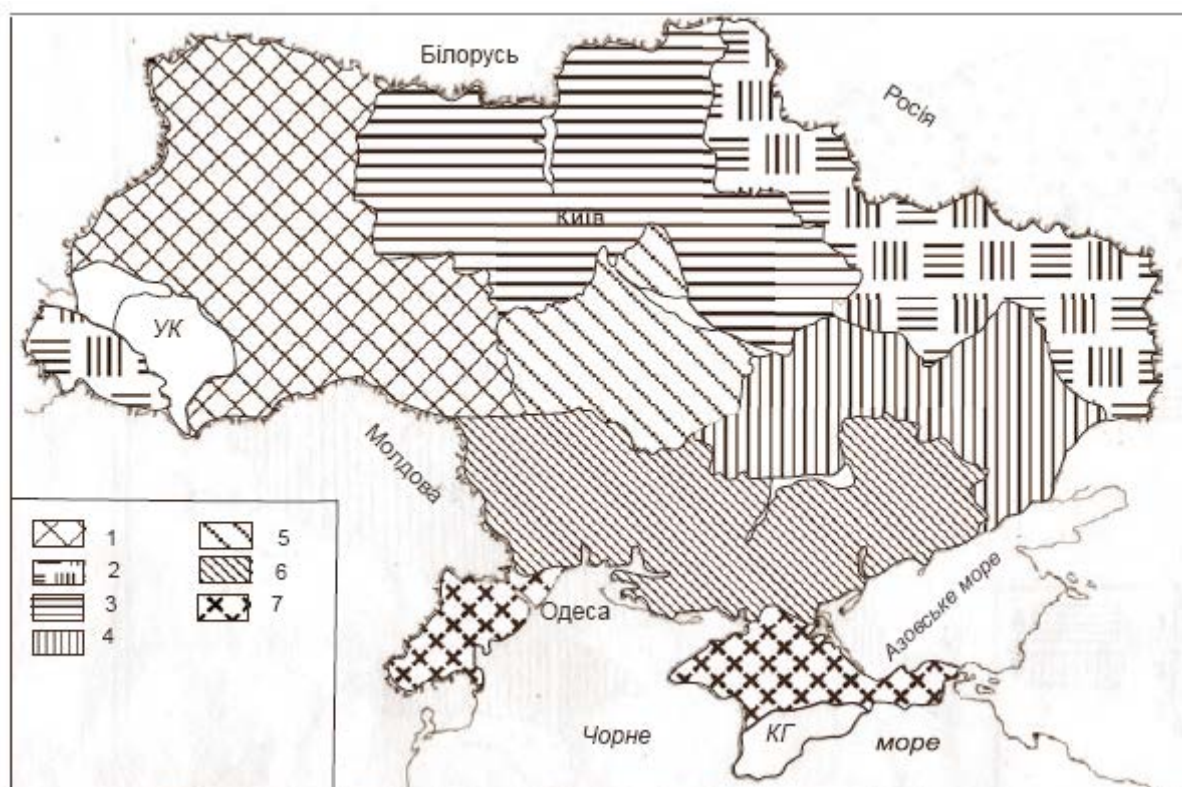
От величины чистой продуктивности фотосинтеза и мощности фотосинтетического аппарата зависит накопление органической массы и формирование хозяйственно-ценной части урожая.

Полученные Л.Ю.Божко (2007) данные подтверждают, что чистая продуктивность фотосинтеза томатов уменьшается уже со второй декады июня, когда листья сильно разрастаются, затеняют один другой, при этом ухудшаются условия для фотосинтеза и меньше накапливается органической массы в расчете на единицу площади. У сладкого перца затенение меньше и поэтому при повышении густоты растений растет накопление органической массы. У огурцов загущение посевов также приводит к уменьшению чистой продуктивности фотосинтеза на 7-15%. Средняя чистая продуктивность фотосинтеза за вегетацию колеблется у баклажанов от 2,0 до 3,5, огурцов – 2,7-3,2, сладкого перца – 2,4-3,6, томатов – 1,7-3,3, капусты – 3,0 – 4,6 г/м<sup>2</sup>. У всех овощных культур эти показатели растут до образования плодов, завязывания кочанов и достигают максимума, потом постепенно снижаются до конца вегетации (табл.2.23).

**Таблица 2.23.** Продуктивность овощных культур в зависимости от густоты посевов (Л.Ю.Божко, 2007)

Показатели продуктивности	Густота растений, тыс. растений/га								
	баклажаны			огурцы			сладкий перец		
	50	75	100	50	75	100	50	75	100
Максимальная площадь листьев	20	28	21	17	23	21	21	30	31
Сухая биомасса, г/м <sup>2</sup>	189	220,1	237,1	176,4	224,5	220,2	240,1	260,4	280,1
Сухая масса плодов, г/м <sup>2</sup>	132	184	161	128,4	184,5	180,6	198	226,2	224,0

На рис.2.7 показано распределение метеорологически возможного урожая томатов.



1 – 150-200 ц/га; 2 - - 201-250 ц/га; 3 – 251-300 ц/га; 4 – 301-350 ц/га; 5 – 351-400 ц/га; 6 – 401-450 ц/га; 7 – 451-500 ц/га; УК, КГ – горные районы

**Рис.2.7.** Карта-схема распределения метеорологически возможного урожая томатов по территории Украины (по Л.Ю.Божко, О.А.Барсуковой, 2009)

Чем больше продолжительность вегетационного периода растения, тем эффективнее растение потребляет энергию солнца, накапливает в надземной и подземной частях органическую массу, поэтому продолжительность их вегетации должна соответствовать возможной (климатической) продолжительности вегетации (О.К., Медведовський, П.І.Іваненко, 1988). При поздних сроках сева формирование продуктивности гороха проходит при менее

благоприятных агрометеорологических условиях, что приводит у значительному снижению площади листьев, т.е. уменьшению фотосинтетического потенциала и, в результате, к снижению урожая (В.В.Иконникова, 2009).

Под общей экономической продуктивностью климата понимают (В.П.Дмитренко, 2005) возможность атмосферы и подстилающей поверхности с помощью климатических ресурсов обеспечивать определенную эффективность экономики в целом на определенной территории. Климатические ресурсы это количество вещества и энергии элементов климата, используемого в различных отраслях экономики. Климатические ресурсы составляют средние многолетние количества тепла и влаги, их объединения, количество снега, льда, энергии солнечной радиации, ветра и других, характерных для данного места и поры года характеристик климата. Продуктивность климата относительно показателя отдельного климатического ресурса  $x$  можно представить следующим выражением:

$$\eta(x) = \frac{y(\bar{x})}{Y(x_o)} = \left(1 - \frac{\bar{x} - x_o}{x_{\max} - x_{\min}}\right)^{q_1} \left(1 + \frac{\bar{x} - x_o}{x_o - x_{\min}}\right)^{q_2},$$

где  $\eta(x)$ - показатель продуктивности климатической характеристики  $x$ ;  $q_1, q_2$  – показатели степени;  $x_o$  – потребность экономики относительно конкретного климатического показателя ( $x$ );  $y(x)$  – объем продукции при конкретных климатических показателях;  $Y(x_o)$  – объем продукции при оптимальных значениях  $x_o$ ;  $x_{\max}$  – биологический максимум;  $x_{\min}$  – биологический минимум.

Общая продуктивность климата  $\eta_3$  с учетом наиболее существенных  $i$ -ых факторов от 1 до  $n$  с весовым коэффициентом каждого из них  $\alpha_i$  представляется в следующем виде:

$$\eta_3 = \sum_{i=1}^n \eta_i \alpha_i.$$

Под общей сельскохозяйственной продуктивностью климата  $C$  понимают возможность атмосферы и подстилающей поверхности через климатические ресурсы обеспечивать определенный уровень плодородия почвы и урожая сельскохозяйственных культур. Ее представляют как совокупность следующих составляющих:

$$C = C_m + \Delta C + \Delta C_{\text{СГЯ}}.$$

где  $C_m$  – мезомасштабная составляющая плодородия климата, содержит ведущие климатические факторы сельскохозяйственного производства, которые определяют продуктивность большей части его отраслей, объектов вместе с плодородием почвы. Основное значение здесь имеют солнечная радиация  $Q$ , температурный режим  $T$  и атмосферное увлажнение  $R$ ;  $\Delta C$  – микроклиматическая составляющая;  $\Delta C_{\text{СГЯ}}$  – составляющая, связанная с влиянием стихийных гидрометеорологических явлений.

Мезомасштабную составляющую можно представить в виде:

$$C_m = C(Q/Q_o, T/T_o, R/R_o).$$

Индекс «о» означает потребность сельскохозяйственного объекта в определенных условиях и символизирует наличие оптимальных условий.

В зависимости от особенностей рельефа мезоклиматические условия могут существенно трансформироваться. Влияние на мезомасштабную составляющую считают существенной, если микроклиматическая поправка  $\Delta x$  изменяет значение климатического ресурса  $\bar{x}$  больше чем на определенную величину  $s$  уровня среднеквадратического отклонения  $\sigma$  за минимально определенный интервал времени.

На развитие живых организмов оказывает влияние сочетание ведущих и второстепенных факторов, которые не вошли в схему определения  $C_m$ . Их влияние можно отобразить через убыточность  $\xi$ , которая учитывает общую  $n$  и недепрессивную  $n_0$  продолжительность отдельного стихийного гидрометеорологического явления (СГЯ) коэффициентом убыточности  $a$  в виде:

$$\xi = a[n - n_0(\eta)],$$

$\eta$  – показатель, фиксирующий убыточность в случае многоступенчатой адаптации объекта к СГЯ путем смены недепрессивной продолжительности.

Комплексное влияние нескольких явлений определяет их общую убыточность в виде:

$$\Delta C_{СГЯ} = \sum_{j=1}^m 1 - \frac{S_n}{S} \xi_k,$$

где  $m$  – перечень совместно определенных стихийных  $j$  –х гидрометеорологических явлений, создающих депрессивное влияние  $\xi_k$  каждого  $k$ -го из них;  $S_n$ ,  $S$  – площадь, охваченная определенным СГЯ на всей территории исследования  $S$  соответственно.

Общее выражение для сельскохозяйственной продуктивности климата следующее (В.П.Дмитренко, 2005):

$$C = C \left[ \frac{Q + \Delta Q}{Q_0}, \frac{T + \Delta T}{T_0}, \frac{R + \Delta R}{R_0}, \sum_{j=1}^m (\xi) \right].$$

На основе этого возникают такие задания для новых технологий и методов управления производственным процессом (А.О.Шевченко, А.С.Азаренкова, 1998):

1) максимально реализовать биологически возможный потенциал сельскохозяйственной культуры в годы с благоприятными метеорологическими условиями, что поможет достичь 5%-ного использования ФАР;

2) агротехническими приемами и методами управления производственными процессами повысить уровень использования агрометеорологических ресурсов, свести до минимума негативное влияние неблагоприятных явлений природы и на этой основе стабилизировать урожаи на возможно высоком уровне.

3) использование сельскохозяйственными культурами 5-7% ФАР и выше следует рассматривать как перспективное задание селекционеров.

Для управления процессами роста и развития сельскохозяйственных культур, оптимизации различных этапов производственного процесса необходимо прогнозирование скорости развития растений, поскольку с датами наступления фаз развития связаны все особенности проведения тех или иных технологических операций, направленных на оптимизацию выхода продукции.



Логичным следствием принципа максимальной продуктивности и соответствия условий является метод эталонных урожаев, суть которого заключается в сравнении урожаев сельскохозяйственных культур разного уровня – от производственных (УП) до потенциально возможных урожаев при идеальных метеорологических условиях (ПУ) и действительно возможных урожаев в реально существующих почвенно-климатических условиях (ДВУ) (Л.Е.Божко, 2006).

Для более детальной оценки агроклиматических условий в качестве временного шага модели рассматривается декадный период. Увеличение потенциальной урожайности за декаду в зависимости от интенсивности фотосинтетически активной радиации (ФАР) и биологических особенностей культур с учетом изменения способности растений к фотосинтезу в течение вегетационного периода определяется по формуле

$$\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} = \alpha_\phi^j \frac{\eta Q_{ФАР}^j dv}{q},$$

где  $\frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t}$  - прирост потенциальной урожайности за декаду, г/м<sup>2</sup>дек;  $\alpha_\phi$  – онтогенетическая кривая фотосинтеза;  $\eta$  – КПД посевов, отн.ед.;  $Q_{ФАР}$  – сумма ФАР за один день расчетной декады, кДж/см<sup>2</sup>сут.;  $dv$  – число дней в расчетной декаде, сут;  $q$  – калорийность, кДж/г;  $j$  – номер расчетной декады.

Средняя калорийность сухой биомассы у различных видов овощных культур варьирует в пределах 18,07-20,5 кДж/г. Калорийность меняется в онтогенезе и для отдельных органов растений она разная.

Прирост метеорологически возможной урожайности представляет собой прирост потенциальной урожайности, который будет ограничен влиянием режима увлажнения и температурного режима

$$\frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ПУ^j}{\Delta t} FTW_2 ,$$

где -  $\frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t}$  - прирост метеорологически возможной урожайности, г/м<sup>2</sup>дек;  $FTW_2$  – обобщенная функция влияния температурного режима и режима увлажнения с коррекцией на сочетание различных экстремальных условий, отн.ед.

Эта функция определяется по принципу Либиха с учетом влияния температуры воздуха и условий увлажнения на продукционный процесс. Функция влияния температуры воздуха на интенсивность фотосинтеза определяется по формуле

$$\Psi_{\phi}^j = \begin{cases} 13,7 \sin(0,077 x_1^j), \text{ при } (T^j - T_0) < T_{opt1}^j \\ 1, \text{ при } -T_{opt} \leq (T^j - T_0) \leq T_{opt2}^j \\ 1,13 \cos(1,570 x_2^j), \text{ при } (T^j - T_0) > T_{opt2}^j \end{cases}$$

где  $\Psi_{\phi}$  - температурная кривая фотосинтеза, отн. ед.;  $T$  - среднедекадная температура воздуха, °С;  $T_0$  - среднедекадная температура воздуха, при которой начинается фотосинтез, °С;  $T_{opt1}$  - нижняя граница температурного оптимума для фотосинтеза, °С;  $T_{opt2}$  - верхняя граница температурного оптимума для фотосинтеза, °С.

$$x_1^j = (T_x^j k_{\text{экс}}^T - T_0) / (T_{opt1}^j - T_0)$$

$$x_2^j = (T_x^j k_{\text{экс}}^T - T_{opt2}^j) / (T_{\max} - T_{opt2}^j)$$

где  $T_{\max}$  - среднедекадная температура воздуха, при которой прекращается фотосинтез, °С;  $T_x$  - температура воздуха на горизонтальной поверхности;  $k_{\text{экс}}^T$  - коэффициент для пересчета температуры воздуха на склоне.

Функция влияния влажности почвы на фотосинтез находится по формуле

$$\gamma_{\phi} = \begin{cases} -1,163(x_3^j)^2 + 2,187x_3^j & \text{при } W^j k_{\text{экс}}^W < W_{opt1}^j \\ 1 & \text{при } W_{opt1}^j \leq W^j k_{\text{экс}}^W \leq W_{opt2}^j \\ -0,654 + 3,824x_4^j - 2,633(x_4^j)^2 + 0,467(x_4^j)^3 & \text{при } W^j k_{\text{экс}}^W > W_{opt2}^j \end{cases}$$

где  $W^j$  - запасы продуктивной влаги в полуметровом слое почвы;  $W_{opt1}$  и  $W_{opt2}$  - соответственно, нижняя и верхняя границы оптимальных запасов влаги;  $x_3$  и  $x_4$  - отношение  $W_k$  соответственно, к  $W_{opt1}$  и  $W_{opt2}$ .

Формирование действительно возможной урожайности ограничивается уровнем естественного плодородия почвы

$$\frac{\Delta ДВУ^j}{\Delta t} = \frac{\Delta МВУ^j}{\Delta t} B_{\text{пл}} F_{\text{гум}}$$

где  $\frac{\Delta ДВУ^j}{\Delta t}$  - прирост действительно возможной урожайности, г/м<sup>2</sup>дек.;  $B_{\text{пл}}$  - балл почвенного бонитета, отн.ед.;  $F_{\text{гум}}$  - функция влияния содержания гумуса в почве.

Получение уровня хозяйственной урожайности ограничивается реально существующим уровнем культуры земледелия и эффективностью внесенных минеральных и органических удобрений.

$$\frac{\Delta УП^j}{\Delta t} = \frac{\Delta ДВУ^j}{\Delta t} k_{\text{земл}} F W_{\text{эф}}^j,$$

где  $\frac{\Delta УП^j}{\Delta t}$  - прирост урожайности в производстве, г/см<sup>2</sup>дек.;  $k_{\text{земл}}$  - коэффициент, который характеризует уровень культуры земледелия и хозяйственной деятельности, от.ед.;  $F W_{\text{эф}}$  - функция эффективности внесения органических и минеральных удобрений в зависимости от условий влагообеспеченности декад вегетации, отн.ед.

Важным показателем продуктивности посевов сельскохозяйственных культур является коэффициент хозяйственной эффективности урожая -  $K_{\text{хоз}}$ ,

который выражает отношение количества сухой фитомассы хозяйственной части урожая (плоды) к общей сухой фитомассе. Коэффициент хозяйственной эффективности зависит от сорта сельскохозяйственных культур и агрометеорологических условий. С учетом этого показателя вычисляются различные агроэкологические категории урожая плодов при их стандартной влажности

$$\begin{aligned} ПУ_{\text{плодов}} &= ПУ \cdot K_{\text{хоз}} \cdot 1,14 \cdot 0,1, \\ МВУ_{\text{плодов}} &= МВУ \cdot K_{\text{хоз}} \cdot 1,14 \cdot 0,1, \\ ДВУ_{\text{плодов}} &= МВУ \cdot K_{\text{хоз}} \cdot 1,14 \cdot 0,1, \\ УП_{\text{плодов}} &= УП \cdot K_{\text{хоз}} \cdot 1,14 \cdot 0,1, \end{aligned}$$

где –  $ПУ_{\text{плодов}}$ ,  $МВУ_{\text{плодов}}$ ,  $ДВУ_{\text{плодов}}$ ,  $УП_{\text{плодов}}$  – агроэкологические категории соответственно для каждой культуры, ц/га.

Из причин, снижающих  $K_{\text{земл}}$ , отмечают (Л.Е.Божко, 2006) засуху и несвоевременный полив растений. При высокой общей продуктивности фотосинтеза и высоком приросте общей сухой фитомассы снижение  $K_{\text{земл}}$  обусловлено ухудшением условий ФАР внутри посева при интенсивном вегетативном росте растений, высокорослостью растений и недостаточной обеспеченностью растений питательными веществами при высокой влажности почвы.

Минеральные элементы при дробном и дифференциальном применении повышают  $K_{\text{земл}}$  и качество урожая. Совместное внесение азота и фосфора, усиленное фосфорное питание, а также бор и марганец способствуют повышению  $K_{\text{земл}}$ , тогда как усиленное азотное питание и медь снижают  $K_{\text{земл}}$  отдельных культур.

Показатель  $K_{\text{земл}}$  снижается при очень низком и при достаточно высоком накоплении фитомассы, однако, при некотором среднем значении фитомассы он достигает наибольшей величины.

Таким образом, высокий уровень накопления общей фитомассы является, с одной стороны, базой для создания высокого урожая, с другой – часто ведет к снижению коэффициента хозяйственной эффективности посевов. Следовательно, уровень хозяйственно ценной части урожая не всегда пропорционален значению КПД, рассчитанному по общей сухой фитомассе. Поэтому, наряду с КПД посева  $\eta$ , рассчитанным по общей сухой фитомассе, иногда можно рассматривать отдельно КПД хозяйственной части урожая за вегетационный период.

$$\eta_{\text{хоз}} = \frac{q m_{\text{хоз}}}{\sum Q_{\phi}},$$

где  $m_{\text{хоз}}$  - сухая фитомасса хозяйственно ценной части урожая;  $q$  – калорийность урожая;  $\sum Q_{\phi}$  - сумма ФАР за вегетационный период. Или

$$\eta_{\text{хоз}} = \eta K_{\text{хоз}}.$$

Величина  $K_{\text{земл}}$ , показывающая долю плодов в общей массе урожая, находится в зависимости от размеров общей биомассы растений  $M_{\text{общ}}$  с учетом влияния температуры воздуха периода вегетации на уровень этой величины

$$K_{\text{хоз}} = \left[ -0,43 + 6,702 \cdot 10^{-4} M_{\text{общ}} - 4,171 \cdot 10^{-7} (M_{\text{общ}})^2 + 8,889 \cdot 10^{11} (M_{\text{общ}})^3 \right] K_{\text{хоз}}$$

$$t_{K_{хоз}} = -4,648 + 0,536\bar{t}_{В.П.} - 0,13(\bar{t}_{В.П.})^2,$$

где  $t_{K_{хоз}}$  – функция влияния температуры воздуха на уровень  $K_{земл}$ ;  $t_{В.П.}$  – средняя за период вегетации температура воздуха.

Соотношение агроэкологических категорий урожайности (ПУ, МВУ, ДВУ, УП) позволяет определить комплексные оценки агроклиматических ресурсов: степени благоприятности климатических условий  $K_m$ , эффективности использования климатических ресурсов  $K_{ар}$ , уровня реализации агроэкологического потенциала при существующей культуре земледелия  $K_{агро}$ , уровня культуры земледелия с точки зрения хозяйственного использования комплекса метеорологических и почвенных условий  $K_{земл}$ , благоприятности почвенных условий  $K_n$ .

$$K_m = МВУ/ПУ,$$

$$K_n = ДВУ/МВУ,$$

$$K_{ар} = УП/МВУ,$$

$$K_{земл} = УП/ДВУ.$$

Повышение уровня УП и доведение его к ДВУ требует тщательного соблюдения всех способов агротехники, выполнения их в полном соответствии с агрометеорологическими условиями на конкретном поле. Это является первоочередной задачей программирования урожаев, направленной на устранение лимитирующего действия разнообразных хозяйственных факторов. Приближение ДВУ к МВУ требует работ по повышению плодородия почвы. Разница между МВУ и ПУ компенсируется за счет мелиоративных мероприятий, а также вследствие правильного подбора сортов и культур, которые лучше приспособлены к особенностям конкретного климата.

Повышение уровня ПУ обеспечивается, главным образом, путем селекции новых сортов и культур, которые лучше приспособлены к особенностям конкретного климата.

Величина урожая находится в тесной зависимости от хода роста площади листьев и продуктивности их работы в отогенезе. В зависимости от конкретных условий чистая продуктивность может иметь большее или меньшее значение в определении интенсивности нарастания сухого вещества. При поздних сроках сева формирование продуктивности гороха проходит при менее благоприятных агрометеорологических условиях, что приводит к значительному снижению площади листьев, которое в свою очередь приводит к уменьшению фотосинтетического потенциала и, как следствие этого, к снижению урожая (В.В.Иконникова, 2009).

Биогидротермический потенциал продуктивности (Кр, баллы) (А.М.Рябчиков, 1968):

$$K_p = [(P-S)/R](T_v/36) = W(T_v/36R),$$

где  $W$  – среднее годовое валовое увлажнение, которое оценивается по разности осадков ( $P$ ) и стока ( $S$ ), в мм;  $T_v$  – вегетационный период, в декадах (36-число декад в году);  $R$  – средний годичный радиационный баланс, в ккал/см<sup>2</sup>.

Лесорастительную пригодность климата ( $K$ ) можно оценить по согласно Г.И.Гореву (1968):

$$K=0,01[R_T-(0,1T-0,1T_R)],$$

где  $R_T$  – количество осадков, испаряющихся при соответствующей сумме температур выше  $10^\circ\text{C}$ ;  $T_R$  – сумма температур воздуха  $>10^\circ\text{C}$ ;  $T$  – сумма температур воздуха  $\geq 10^\circ\text{C}$ , которая используется на испарение.

Для каждой древесной породы определенного типа леса или класса бонитета показатель  $K$  обнаруживает тесную связь со средней высотой древостоя в фиксированном возрасте. Например, в 100-летних сосняках, растущих на бедных свежих почвах в брусничном типе леса, связь  $N_{ср}$  с показателем благоприятности климата описывается уравнением (В.В.Загребев и др., 1992):

$$N_{ср}^{100} = 20,2K - 4,5K^2 + 0,3K^3 - 0,9.$$

Климатический индекс (по Х.Патерсону, 1956):

$$j = (T_v PG \epsilon) / (T_a \cdot 12 \cdot 100),$$

где  $T_v$  – средняя температура самого теплого месяца,  $^\circ\text{C}$ ;  $T_a$  – разность температур самого теплого и самого холодного месяцев,  $^\circ\text{C}$ ;  $P$  – среднее количество осадков за год, мм;  $G$  – продолжительность вегетационного периода, мес.;  $\epsilon$  – редуцированный коэффициент на транспирацию и испарение (рассчитывается по кривой динамики взаимосвязи солнечной радиации на полюсе и в изучаемом районе), %.

От пояса до экватора величина индекса  $j$  варьирует от 0 до 20000. В районах, где  $j \leq 25$ , существование растительности невозможно. Между климатическим индексом и текущим приростом по запасу имеется корреляционная связь (В.Ертельд, 1966):

Индекс	0-25	26-100	101-300	301-1000	1001-5000	5000 и более
Прирост по запасам, $\text{м}^3/\text{га}$	0	0-3	3-6	6-9	9-12	12 и более

Климатологический показатель обеспеченности роста древесных растений ( $K$ ) определяется по формуле П.В.Воропанова (1970):

$$K = [(t_b \cdot 0,01a) + t_n] + O_c,$$

где  $t_b$  – абсолютная температура воздуха;  $a$  – относительная влажность;  $t_n$  – абсолютная температура почвы;  $O_c$  – количество осадков.

Понижение значений коэффициента  $K$  характеризует ухудшение условий роста деревьев.

По (В.П.Дмитренко, 2005) урожай ( $Y$ ) это совокупность взаимодействия биологического максимума урожая ( $Y_b$ ), плодородия почвы ( $F$ ), продуктивности климата ( $C$ ) и антропогенного влияния ( $A$ ) (рис.2.8):

$$Y = Y_b F C A.$$

Биологический максимум урожайности определяется как:

$$Y_b = p_o m_o,$$

где  $p_o$  – оптимальная густота посева;  $m_o$  – оптимальная масса продуктивного органа.

Географический максимум урожайности:

$$Y_g = Y_b F_e C A,$$

где  $F_e$  – эффективное плодородие почвы.

$$Y_g = Y_{ст} + A(t)p(y),$$

где  $У_{ст}$  – статистический максимум урожайности;  $A(t)$  – антропогенная составляющая хозяйственного потенциала по тренду урожайности;  $p(y)$  – функция распределения экстремальных членов выборки.

Экономический минимум урожайности:

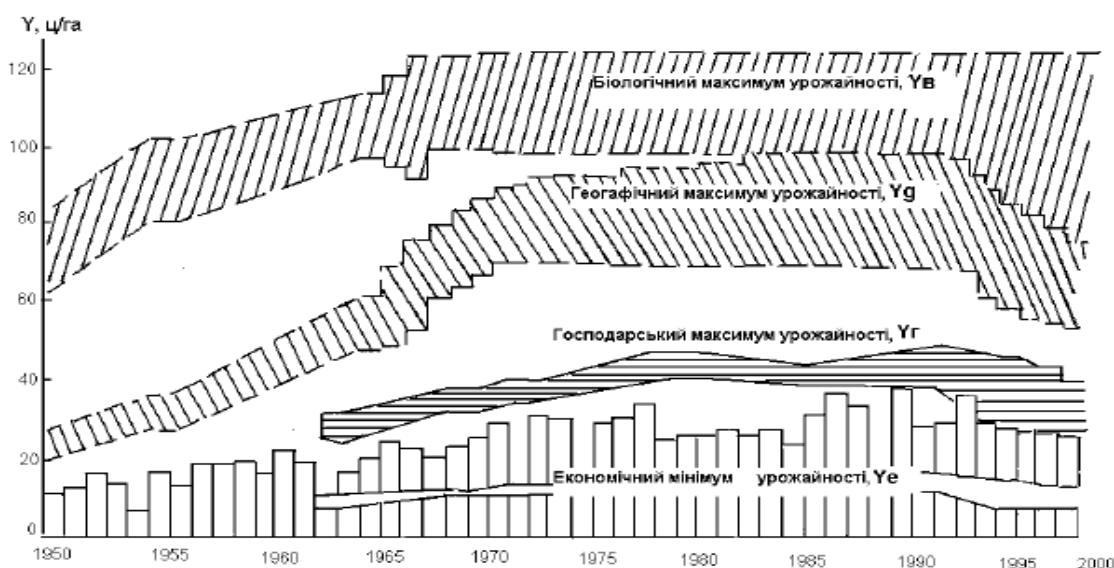
$$У_e = У_{г}[1-S(T,R)]\rho,$$

где  $\rho$  – норма рентабельности при условии, что коэффициент продуктивности по температуре ( $T$ ) и количеству осадков ( $R$ ) определяется выражением  $S(T,R)=\min$ .

Биологический максимум урожайности на любой территории определяется биологическими возможностями полевой культуры по ее сортовому составу и вносом в общую продуктивность по степени распространения, а именно:

$$\bar{y}_e = \frac{\sum y_{ei} \cdot S_i}{\sum S_i},$$

где  $\bar{y}_e$  – средний биологический максимум урожайности на некоторой территории;  $У_{vi}$  – биологический максимум урожая  $i$  – го сорта;  $S_i$  – посевная площадь соответствующего сорта.



**Рис.2.8. Динамика урожайности озимой пшеницы в Украине согласно системе оценок ее биологического потенциала ( $У_v$ ), плодородия почвы ( $F_e$ ), продуктивности климата ( $C$ ) и антропогенного влияния ( $A$ ). Прямоугольниками показана фактическая урожайность (В.П.Дмитренко, 2005)**

Согласно рис.2.8 выделяется три периода с различным содержанием типа земледелия по признакам интенсивности (В.П.Дмитренко, 2005): 1) рост урожайности благодаря усилению интенсификации (с 1950 по 1978 г.); 2) застойный тип (с 1978 по 1991-1993 гг.) при стабильных уровнях урожайности: биологическом потенциале, географическом, хозяйственном максимумах, фактических значениях и экономическом минимуме; 3) деградирующий тип (с 1991-1993 гг. по 2000 г.) (рис.2.9).

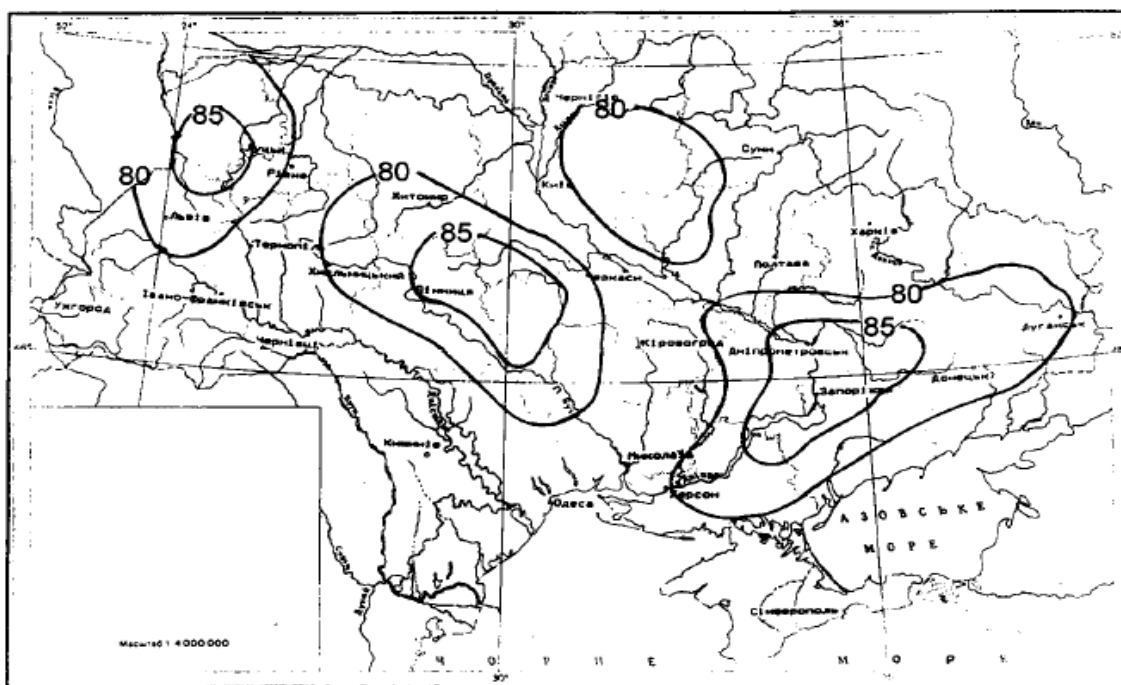
Недобор урожая ( $\delta_3$ ) может быть представлен следующим образом (В.П.Дмитренко, 2005):

$$\delta_3 = \delta_m + \delta_n + \delta_a,$$

где  $\delta_m$  – недобор урожая вследствие фоновых мезоклиматических условий;  $\delta_n$  – недобор урожая вследствие неблагоприятных атмосферных явлений;  $\delta_a$  – недобор урожая вследствие несоответствия уровня хозяйствования нуждам растений.

$$\delta_3 = 1 - u_\phi / Y_\Gamma, \quad \delta_m = 1 - S(T, R), \quad \delta_n = \delta_n + \delta_a,$$

где  $u_\phi$  – уровень фактической урожайности;  $Y_\Gamma$  – уровень хозяйственного максимума урожайности;  $S(T, R)$  – суммарный коэффициент продуктивности полевых культур под влиянием температуры воздуха ( $T$ ) и количества осадков ( $R$ );  $\delta_n$  – местный или локальный недобор урожая при сочетании влияния неблагоприятных явлений ( $\delta_n$ ) и оценки уровня хозяйственной деятельности ( $\delta_a$ ).



**Рис.2.9. Распределение продуктивности климата для озимой пшеницы по  $S(T,R)$  в % соответственно к хозяйственному максимуму урожайности по осредненным областным данным (1960-1985 гг.) (В.П.Дмитренко, 2005)**

Антропогенное влияние на урожай сельскохозяйственных культур сказывается через изменения состояния почвы и качества урожая. Одним из факторов антропогенного влияния является загрязнение атмосферного воздуха. Его влияние проявляется в повышении содержания тяжелых металлов в почве, в выпадении кислотных дождей, обеднении видового состава растений и активизации эрозионных процессов. Модели зависимости урожайности отдельных сельскохозяйственных культур от загрязнения атмосферы подсчитанные по данным по Сумской области представлены в табл.2.24.

Бонитет почвы в общепринятом значении можно определить по следующему выражению (В.П.Дмитренко, 2005):

$$B = FCA = Y / Y_b,$$

где  $Y$  - урожай;  $Y_b$  – биологический максимум урожая.

**Таблица 2.24.** Модели зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от загрязнения атмосферного воздуха (по Б.Д.Бачишину, Р.Б. Шульган, 2009)  $Y$  – урожайность, ц/га;  $X$  – среднегодовая приведенная концентрация загрязняющих веществ в условных мг/м<sup>3</sup>

Культура	Модель	Коэффициент корреляции
Пшеница озимая	$Y=32,2+21,3X-61,7X^2$	0,721
Рожь озимая	$Y=251,1+15,5X-85,5X^2$	0,426
Овес	$Y=25,8+27,0X+257,0X^2$	0,396
Кукуруза на зерно	$Y=26,8+20,9X-398,0X^2$	0,641
Кукуруза на зеленую массу	$Y=302,2+390,1X-2713,3X^2$	0,635
Картофель	$Y=73,4+160,1X-484,1X^2$	0,897
Овощи	$Y=103,8+175,1X-626,7X^2$	0,507

Суммарный взвешенный бонитет почвы ( $\bar{B}$ ) может быть определен с учетом площади посева каждой культуры ( $S_i$ ):

$$\bar{B} = \frac{\sum_i Y_i S_i}{\sum_i Y_{oi} S_i} .$$

**Оптимальные характеристики климата относительно роста и урожайности растений.** Оптимальной (относительно продуктивности растений) называют температуру, при которой наблюдается максимальная продуктивность. Значения оптимальной температуры изменяются в течение вегетации: самые низкие значения наблюдаются в период высадки рассады в почву до цветения и составляют для баклажанов, сладкого перца и томатов 20°C, для огурцов 18°C, для капусты от всходов до образования кочана 19°C. В период цветения до технической спелости оптимальная температура растет соответственно до 26, 24 и 23 °С, в период от технической спелости до уборки снова уменьшается до 25, 23, 22 °С соответственно. При таком росте оптимальной температуры коэффициент продуктивности поглощенной радиации постепенно увеличивается от 0,5 до 2 у баклажанов, огурцов, сладкого перца и томатов и от 0,5 до 2,5 у капусты (Л.Ю.Божко, 2007). В табл.2.25 - 2.32 представлены метеорологические оптимумы растений.

Ряд овощных культур отличаются повышенными требованиями к теплу и влаге. Для огурцов необходимая сумма температур в зависимости от скороспелости сорта от посева до прекращения вегетации составляет 1800 – 2800 °С, для капусты – от 1750-3000 °С, для баклажан, перца и томатов – 2100-3300 °С. Оптимальная потребность во влаге баклажанов составляет 450-670 мм для среднеспелых сортов. Для большинства позднеспелых сортов потребность растет с севера на юг соответственно до 500-700 мм, для сладкого перца и томатов – 450-660 мм, капусты – 300-640 мм, огурцов – 270-500 мм. Суммарное испарение увеличивается северо-запада на юго-восток. Дефицит влаги (разница между оптимальным водопотреблением и суммарным испарением) на неорошаемых территориях составляет 70-138 мм, на орошаемых 30-50 мм (Л.Ю.Божко, О.А.Барсукова, 2009). Все категории урожайности овощей



**Таблица 2.25.** Требования сельскохозяйственных культур к теплу (°С) (по Ф.З.Батталову, 1980)

Культура	Скороспелость сортов	Период	Биологический минимум температур		Реакция на длину дня (поправка на 1° широты)	Биологическая сумма температур для широты 55°С	Оптимальные температуры роста и развития	Вредные температуры роста и развития
			начало роста	начало созревания				
Яровая пшеница (мягкая)	раннеспелые	посев-восковая спелость	5	10	-20	1400	20	35
	среднеспелые	то же	5	10	-20	1500	20	35
	позднеспелые	то же	5	10	-25	1700	20	35
Яровая пшеница (твердая)	среднеранние	то же	5	12	-15	1500	20	35
	среднеспелые	то же	5	12	-20	1600	20	35
	позднеспелые	то же	5	12	-20	1700	20	35
Ячмень	раннеспелые	то же	5	10	-20	1250	20	35
	среднеспелые	то же	5	10	-15	1350	20	35
	позднеспелые	то же	5	10	-15	1450	20	35
Овес	наиболее раннеспелые	то же	5	10	-20	1250	20	35
	среднеспелые	то же	5	10	-20	1450	20	35
	позднеспелые	то же	5	10	-20	1550	20	35
Озимая рожь	раннеспелые	то же	5	10	-30	1300	16-20 (колошение-созревание)	-
	среднеспелые	то же	5	10	-30	1350		
	позднеспелые	то же	5	10	-30	1400		
Озимая пшеница	раннеспелые	то же	5	10	-25	1400	16-20 (колошение-созревание)	-
	среднеспелые	то же	5	10	-25	1450		
	позднеспелые	то же	5	10	-25	1500		

**Таблица 2.26.** Оптимальные значения основных агрометеорологических факторов для формирования элементов структуры урожая картофеля (Л.П.Коренчук, В.Г.Кузиним, 1998)

Межфазные периоды	Формирование элементов урожая в соответствующие периоды	Оптимальные значения агрометеофакторов		
		Средняя температура воздуха, °С	Запасы продуктовой влаги в 0-50см слое почвы, мм	Количество осадков за период, мм
Посадка-всходы	густота насаждений	9-12	40-70	40-50
	высота растений	15-18	50-70	40-60
Бутонизация-цветение	высота растений, начало формирования клубней	16-18	45-50	30-35
Цветение - отмирание ботвы	накопление массы клубней, их количества и массы под кустом, процент товарных клубней	17-19	50-60	180-220

**Таблица 2.27.** Температурные условия функционирования древесной растительности в бореальной зоне (В. Ф. Цветков, 2004)

Физиологические функции растительности	Температурные условия, °С					
	хвойных			лиственных		
	оптимальные	удовлетворительные	минимальные	оптимальные	удовлетворительные	минимальные
Фотосинтез	18-27	10-30	-5-8	15-25	10-32	-8
Дыхание	30-35	25-40	-20	25-30	15-35	-15
Рост побегов	18-25	15-30	5	20-25	15-30	3-4
Транспирация	20-25	15-30	0	20-25	18-30	0
Прорастание семян	18-25	10-30	5-7	13-25	10-28	3-4

**Таблица 2.28.** Биологические минимумы, температура, ниже которой прекращается активная вегетация растений (по В. О. Смирнову)

Культура	Температура °С			
	появление ростков	формирование вегетативных органов	формирование генеративных органов	плодоношение
Хлопок	14-15	14-15	15-20	15-12
Бобы	5-6	5-6	8-10	12-10
Вика	4-5	4-5	10-12	12-10
Горох	4-5	4-5	8-10	12-10
Гречка	7-8	7-8	10-12	12-10
Фасоль	12-13	12-13	15-18	15-12
Конопля	2-3	2-3	10-12	12-10
Кукуруза	10-11	10-11	12-15	12-10
Люпин однолетний	5-6	5-6	8-10	12-10
Лен	5-6	5-6	10-12	12-10
Овес	4-5	4-5	10-12	12-10
Просо	10-11	10-11	12-15	12-10
Пшеница яровая	4-5	4-5	10-12	12-10
Рыжей	2-3	2-3	8-10	12-10
Подсолнечник	7-8	7-8	12-15	12-10
Ячмень	4-5	4-5	10-12	12-10
Люцерна	5			
Картофель	3	7	7	6-7

**Таблица 2.29.** Границы метеорологических оптимумов формирования разного уровня урожайных свойств семян озимой пшеницы (экологическая модель) (за Л. А.Животков, С. В.Бірюков, А. Я.Степаненко і ін., 1989)

Показатель	Межфазный период вегетации, спелость	Уровень урожайных свойств семян и его оценка, балы		
		повышенный, 7-9	средний, 4-6	пониженный, 0-3
Средняя температура воздуха, °С	колошение-молочная спелость	13-17	10-12 18-21	меньше 10 больше 21
	молочная спелость - восковая спелость	16-18	11-15 19-23	меньше 11 больше 23
Количество дней с температурой воздуха:				
25°С и выше	колошение-молочная спелость	0-5	6-9	больше 9
	молочная спелость - восковая спелость	0-7	8-10	больше 10
10°С и ниже	колошение - молочная спелость	0-4	5-9	больше 9
	молочная спелость восковая спелость	0-2	3-5	больше 5
	восковая спелость – полная спелость	0-1	2-4	больше 4
5°С и ниже	восковая спелость – полная спелость	0	1	больше 1
Атмосферные осадки, мм	колошение - молочная спелость	61-120	21-60 121-160	0-20 больше 160
	молочная спелость-восковая спелость	41-75	11-49 76-120	0-10 больше 120
	восковая спелость – полная спелость	0-20	21-40	больше 40
Средняя относительная влажность воздуха, %	колошение - молочная спелость	56-80	41-55 81-95	меньше 40 больше 95
	молочная спелость - восковая спелость	51-75	36-50 76-90	меньше 36 больше 90
	восковая спелость – полная спелость	41-65	66-80	меньше 50 больше 90
Количество дней с относительной влажностью воздуха:				
50% и ниже	колошение - молочная спелость	0-6	7-15	больше 15
	молочная спелость - восковая спелость	0-4	5-10	больше 10
80% и выше	восковая спелость – полная спелость	0-1	2-4	больше 4

**Таблица 2.30.** Оптимальные характеристики климата для растений

Сельскохозяйственная культура	Средняя температура воздуха, °С	Сумма осадков, мм, обеспечивающая 90-95% максимального урожая	Сумма активных температур воздуха, °С	Средняя продолжительность вегетации, дни	Потребность растений во влаге, мм/ суммарное испарение, мм	Расход воды на создание 1 кг сухого вещества, л
Озимая пшеница		650	1200-1700, 2870	315		400-500
Озимая рожь		640	1300-1400, 2470	305		250-450
Ячмень яровой	17,4	285	1000-1470	100		
Овес		290	1000-1800	100		500-800
Кукуруза:						250-300
раннеспелая		220-310	2050-2180	90-100		
среднеспелая		280-350	2200-2310	115-120		
позднеспелая		400	2900-3000	135-145		
Просо		300	1765	100		200-250
Соя	20-25	200-350	1750-2850	100-160	/520	
Горох		320	1250-3000	90		
Сахарная свекла	> 14	250-320	1250-2450	150-165		
Подсолнечник	20-27	250	1200-2430	135	/470-570	500-600
Пшеница яровая			2200-2350	75-115		
Картофель	18	200-260	1200-1800	110-135	/400-550	300-600
Гречиха			1300-2050	70-80	145	400-600
Баклажаны		179		141	669/619	
Сладкие перцы		181		156	694/650	
Огурцы			1500	102	380	
Томаты		139	1150	146	682/628	
Лук			500-700(перо)	100		
Морковь			1200-1500	120		
Капуста белокочан	15-18			110-200		
Рис			2000-3600	85-145		500-800
Лен			800-1100	70-90	/420-690	400-500
Клеверозлаковые травосмеси	14	300-350				500-700
Вика (травы)			1000-1700			
Люцерна трава/семена			800-850/ 900-1300	110-130	700-900	
Клевер	25		900-1200			400-600
Редька дикая			500-700			770
Лебеда						800-900
Осот розовый		450-900				1000
Пырей ползучий						1183
Виноград			2100-3700-4000		400	
Груша	1- 8 лет				301	
	9-13 лет				372	
	≥14-16				318,9	
Листвен. деревья						400-600

**Таблица 2.31.** Оптимальные температурные показатели и требования к почве и влаге для некоторых растений

Растение	Температура прорастания семян				Необходимая площадь питания, см	Оптимальная влажность почвы для прорастания семян	Требования к свету	Требования к влаге	Требования к почве
	минимальная	оптимальная	максимальные	Неблагоприятная					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Березка полевая	4-6	18-24					+	+ 1	+
Вьюнок полевой	6-8	18-24							
Пырей ползучий	2-4	28-30							
Горец вьюнковый	1-2	14-16							
Просо куриное	4-6	26-28						+	
Щирица закинутая	6-8	26-36							
Редька полевая, дикая	2-4	10-12							
Горчица полевая	2-4	14-20							
Канатник Теофраста	3-4	16-20							
Амброзия полыннолистная	6-8	20-22		30-32		Выдерживает подтопление на протяжении 2 недель	+		+
Сурепица обыкновенная	6-8	18-24							
Осот розовый	4-6	35-40		<5		-	+		$p \leq 1,35 \text{ г/см}^3$
Хвощ полевой	3-5	20-22					+	+	+
Мишей сизый	15-20							+	
Пастушья сумка	10-12	20-30							
Люцерна	1	18-20						60-80% ПВ	
Клевер	1-3	15-20						60-70% ПВ	
Кострец безостый	4-5	20-30							
Овсяница луговая	3-5	7-8							
Подсолнечник	4-6	8-10 (18-28)	18-40	>35; -2	30×50		+	70% НВ	$pH=6-7,8$ ; $p=1,2-1,4 \text{ г/см}^3$

Продолжение табл.2.31

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Лебеда белая									pH=7,5
Капуста белоголовая	3-4	18-20	25	>25; -4	30×30-р 50×70-п		+	80%НВ; 80-90% <sup>2</sup>	pH=6,5-7,5-на черноземах и подзолистых почвах, 5-5,5-на торфяниках
Лен	3-4	10-12		<-3-4; >32-34			-	70%НВ	+
Соя	6-7	15-20		<-2,5; >32-34		40-70%ПВ		75-80%НВ; 70-80% <sup>2</sup>	pH=5-8; pНопт= 6,5-7
Картофель	3-5	18-20		<3; >31				60-80%ПВ	p=1-1,2г/см <sup>3</sup>
Баклажан	20	24-32	40	-1	40×40				
Бобы	15	24-32	41	-4	15×15				
Горох	4	5-24	29	-4	5×10				
Кабачки	12	18-25	38	-1	50×100				
Кукуруза	10	16-35	41	-1	25×25				
Лук-чернушка	2	10-30	35	-3	10×10				
Морковь	4	7-29	35	-4	5×10				
Огурцы	16	18-35	41	-1	40×40				
Перец	20	25-35	40	-2	30×30				
Редис	4	10-20	25	-6	4×10				
Редька	4	10-20	25	-5	10×10				
Свекла	5	10-29	35	-2	8×8				
Томат	16	22-29	35	-2	30×50				
Тыква	16	20-30	40	1	100×100				
Фасоль	16	18-29	40	-1	15×15				
Чеснок	2	2-25	40	-10	10×10				

1- не переносит продолжительное затопление; 2 – относительная влажность воздуха;

+ - требовательное; - не требовательное; р- плотность почвы

**Таблица 2.32** Критические температуры роста некоторых многолетних трав (по В.М.Ковалев, 2000)

Характеристика	Ежа сборная	Овсяница луговая	Тимофеевка луговая	Кострец безостый	Клевер луговой
Начальная температура роста биомассы культуры, °С	3 (0-2)	4	4	4	4 (4-6)
Оптимальная дневная температура, при которой обеспечивается максимальная скорость роста урожая, °С	23	24	24	24	24

увеличиваются с севера на юг и достигают максимума в четвертой агроклиматической зоне (рис.2.7).

Исследования Л.Ю.Божко и О.А.Барсуковой (2009) показали, что Украина имеет большие резервы повышения урожайности овощных культур, особенно при расширении орошаемых земель. Для этого нужно создать условия, в т.ч. и с помощью орошения, для более полного использования ФАР.

## 2.3. Энтомофауна

### 2.3.1. Качественная и структурная перестройка энтомофауны современных агроландшафтов

На территории Украины зарегистрировано более 3000 видов организмов, питающихся полезными растениями, из них 680 причиняют значительный, а многие – очень большой вред. Более 480 видов являются вредителями сельскохозяйственных культур (табл.2.33). Наибольшей вредоносностью характеризуются насекомые. Чрезвычайные ситуации в сельском хозяйстве в последние годы были связаны с массовым развитием лугового мотылька в 1957 году и в 1986-1989 гг., вредной черепашки на зерновых колосовых в 1986-1988 гг. и в 1996 г., саранчи в 1989-1993 гг. Эпифитотии ржавчины пшеницы отмечались в 1967, 1973, 1982, 1983 и 1990 г., фузариоза колоса пшеницы – в 1989, 1992 и 1993 гг., фузариоза картофеля – в 1985, 1986, 1990 и в 1993 гг. (В.А.Захаренко, 1997).

В Украине службой защиты растений проводится контроль заселенности вредителями 9 основных сельскохозяйственных культур и 8 дополнительных (табл.2.34-2.35). Потенциальные потери урожая от вредителей показаны в табл.2.36-2.37.

Однако мир насекомых состоит не только из вредителей, но и из полезной энтомофауны. Многие виды вредителей в своем эволюционном развитии тесно связаны с растениями (П.В.Вольвач, 1989). Насекомые принимают участие в опылении более 80% произрастающих на земле растений, в том числе многих плодовых культур, клевера, люцерны, эспарцета, подсолнечника, гречихи.

**Таблица 2.33.** Распространение основных вредителей сельско-хозяйственных культур на территории Украины (П.В.Вольвач, 1989)

Систематические группы	Количество видов				Всего
	зернобиоты		термофилы	гигрофилы	
	много-ядные	узко специализированные			
Моллюски	-	-	3	12	15
Нематоды	3	-	2	3	8
Клещи	1	3	10	5	19
Ракообразные	-	-	2	-	2
Насекомые, в т.ч.:	38	151	140	83	412
Прямокрылые	2	-	4	-	6
Цикадовые	9	-	2	1	12
Листоблошки	-	-	3	1	4
Тли	1	13	15	2	31
Кокциды	-	3	7	-	10
Клопы	-	9	3	4	16
Трипсы	-	9	-	1	10
Жуки	2	54	58	41	155
Перепончатокрылые	-	8	15	7	20
Мухи	-	18	8	11	37
Бабочки	24	37	25	15	101
Грызуны	4	-	10	10	24

Неоценима роль насекомых в почвообразовании и повышении плодородия почв. Полезная энтомофауна ограничивает и регулирует численность опасных вредителей растений. Каждый вид насекомого в природе развивается не обособленно, а в тесной связи с другими насекомыми и растениями.

В настоящее время нарастает дестабилизация фитосанитарной обстановки (В.Г.Коваленков, 2005 и др.) из-за многоукладного землепользования, снижения общей культуры земледелия, чрезмерной специализации, отхода от севооборотов, возделывания генетически однородных сортов и вывода из сельскохозяйственного использования значительных площадей. Составная часть технологии выращивания растений – их защита от вредных видов утратила комплексность, планомерность, сведена к преобладающему применению пестицидов. Произошедшие изменения спровоцировали непрогнозируемое расширение видового состава, повышение агрессивности и распространенности вредных организмов. Такая ситуация требует изучить особенности агроценотической перестройки качества и структуры вредной и полезной энтомофауны в агроландшафтах, определить пути снижения токсической нагрузки на посевы сельскохозяйственных культур и активизации природных регуляторных механизмов (В.Г.Коваленков, 2005).



**Таблица 2.34.** Основные и дополнительные сельскохозяйственные культуры – объекты фитосанитарного контроля Службы защиты растений Украины (Карантин і захист рослин, 2012) (+ контроль проводится, - контроль не проводится)

№	Культура	Вредные насекомые	Болезни					Сорняки
			микозы	нематодозы	бактериозы	вирусы	непаразитар ные	
<b>Основные</b>								
1	Пшеница	+	+	-	-	-	-	-
2	Подсолнечник	+	+	-	-	-	-	-
3	Ячмень	+	+	-	-	-	-	-
4	Кукуруза	+	+	-	-	-	-	-
5	Картофель	+	+	-	+	+	-	-
6	Соя	+	+	-	+	-	-	-
7	Рапс	+	+	-	+	-	-	-
8	Сахарная свекла	+	+	-	-	+	+	-
9	Овощные культуры	+	+	-	+	-	-	-
<b>Дополнительные</b>								
1	Рис	+	+	-	-	-	-	-
2	Горох	+	+	-	-	-	-	-
3	Люцерна	+	+	-	-	-	-	-
4	Хмель	+	+	-	-	-	-	-
5	Лён	+	+	-	-	-	-	-
6	Конопля	+	+	-	-	-	-	-
7	Табак	+	+	-	+	-	-	-
8	Клевер	+	+	-	-	-	-	-

Возросшая дестабилизация в агропромышленном комплексе характеризуется не только изменением структуры агроценозов, но и масштабным формированием популяций вредителей, резистентных к пестицидам. Резистентность сопряжена с изменением генетической структуры популяции в результате появления и распространения устойчивого биотипа вследствие движущегося отбора под селектирующим давлением пестицидов. Резистентность любого биологического вида к абиотическим стрессам – изначально присущее ему свойство реализации адаптивного потенциала, выработанное в процессе многовековой эволюции. Это явление полезно для вида и играет определенную роль в его выживании. Приобретая генетически закрепленную устойчивость к пестициду, фитофаги быстрее восстанавливают численность и оказываются лучше приспособленными к различным

изменениям экоресурсов. Поэтому их вредоносность в отношении растения-хозяина проявляется быстрее и сильнее.

**Таблица 2.35.** Заселенность ценозов разными видами энтомопатогенных нематод (Карантин і захист рослин, 2012)

Ценоз	Количество проб				
	отобран- ных	зараженных, %			
		всего	<i>S.feltice</i>	<i>S.carpocapsae</i>	<i>H.bacteriophora</i>
Украина					
Полевые культуры	171	25,0	20,0	5,0	0
Сады и виноградники	133	16,5	0	2,1	14,4
Сосновые рассадники	40	10,0	0	5,0	5,0
Всего	344	20,0	5,4	12,0	2,6
АР Крым					
Сады	168	8,3	1,8	0	6,5
Виноградники	60	6,7	0	0	6,7
Декоративные культуры	201	4,5	1,0	0	3,5
Полевые культуры	64	0	0	0	0
Всего	493	5,1	10,0	0	4,5

**Таблица 2.36.** Потенциальные потери урожая сельскохозяйственных культур в США (В.А.Захаренко, 1997)

Год	Потери урожая, %				Общие потери, млрд. долл.
	от вредителей	от болезней	от сорных растений	общие	
1904	9,8	-	-	-	-
1910-1935	10,5	-	-	-	6
1942-1951	7,1	10,5	13,8	31,4	27
1951-1960	12,9	12,2	8,5	33,6	30
1974	13	12	8	33	77
1989	13	12	12	37	150

**Таблица 2.37.** Мировые потери урожая сельскохозяйственных культур в 1988-1990 гг.,% (В.А.Захаренко, 1997)

Культуры	Потери			Всего
	от болезней	от вредителей	от сорных растений	
Рис	15,1	20,7	15,6	51,4
Пшеница	12,4	9,3	12,3	34,0
Ячмень	10,1	8,8	10,6	29,4
Кукуруза	10,8	14,5	13,1	38,3
Картофель	16,4	16,1	8,9	41,1
Соя	9,0	10,4	13,0	32,4
Хлопчатник	10,5	15,4	11,8	37,7
Кофе	14,9	14,9	10,3	40,0

По многолетним данным в настоящее время наиболее выражена резистентность по отношению к пиретроидным препаратам, которые 20 и более лет преобладают в арсенале земледельцев.

Последовательное снижение эффективности широко применяемых средств защиты растений – первый признак появления резистентных особей в полевых популяциях вредителя. Обычно показатель резистентности вредитель приобретает в течение 3-5 лет, после чего он ускоренно (в пределах одного полевого сезона) прогрессирует. Биологическое состояние популяций доминантных вредителей в агроландшафтах под многолетним селекционирующим давлением пестицидов трансформировалось настолько, что скорость достижения ими уровня резистентности, при котором применяемый инсектицид утрачивает действие, ограничивается всего 10-15 поколениями. Необходимо коренное изменение практикуемой химической стратегии и истребительной тактики защиты растений в направлении ее биологизации и экологизации.

Формирование резистентных популяций приобрело непрерывный характер, а вредные виды – повышенный коэффициент размножения (В.Г.Коваленков, 2005 и др.). На фоне односторонней избыточной химизации каждая очередная обработка теряет эффективность и становится дополнительным стимулом размножения вредителя, усиливает негативное влияние на природные регуляторы численности и окружающую среду. Возрастающая резистентность – фактор, масштабно дестабилизирующий фитосанитарную обстановку, затрудняет сохранение урожая возделываемых культур. Происходящие изменения регистрируются в такой последовательности: спад эффективности применяемых пестицидов, увеличение их расхода, сокращение сроков послеобработочного восстановления численности фитофагов до порога вредоносности, повышение их плодовитости, численности на посевах и посадках, площадей распространения и, наконец, возросшая резистентность до уровня, нейтрализующего влияние применяемых химических средств. У энтомофагов резистентность к инсектицидам формируется по таким же закономерностям, как и у вредителей.

На фоне преимущественного применения химических средств, наряду с ростом агрессивности доминантных вредителей возникло новое явление – сукцессия фитофагов. Она связана со структурными и качественными изменениями в агроценозах и означает смену доминант, при которой ранее малозначимые смежнообитающие вредные виды трансформируются в сверхдоминантные, экономически значимые.

Значительное изменение фауны происходит и в связи с освоением новых для конкретных территорий культур (В.Г.Коваленков, 2005 и др.). Так, посевы сои стали заселяться акациевой огневкой. Расширение посевов рапса усилило вредоносность не только рапсовых листоеда и цветоеда, но и двух видов скрытнохоботников – листовенного крестоцветного и рапсового, а также 3 видов клопов – горчичного, капустного и рапсового. Эти фитофаги стали наносить ущерб посевам всех крестоцветных культур, включая капусту, репу, редьку.

Опасность и непредсказуемость фитофагов усиливается также вследствие их изменяющихся поведенческих реакций и пищевой специализации. Например, колорадский жук стал откладывать яйца не только на пасленовых, но и на 13 видах сорных и культурных растений разных семейств, где личинки оказались способными дополнительно питаться. В агроценозах стало изменяться соотношение традиционных вредителей.

Нарастает дестабилизирующее влияние и такого нового фактора, как ранее возделываемые бросовые земли – нераспаханные, незасеянные поля, зарастающие сорняками или падалицей пшеницы, люцерны, подсолнечника. В них формируются своеобразные резервации нетрадиционного комплекса фитофагов – первичные очаги бражников, репейницы, клопов, тлей, вредных совок, а также многоядных видов – саранчовых, которые затем активно расселяются на посевы и посадки сельскохозяйственных культур.

Условия для обитания энтомофауны, формирование энтомокомплекса, в первую очередь, определяется составом культур севооборота. Растения, являясь средообразующим фактором, представляют первое звено в возникающих трофических цепях «растение-фитофаг-энтомофаг». Пищевой фактор служит основой формирования видового состава практически всех основных групп энтомокомплексов. Особенно это касается насекомых, питающихся избирательно.

Кроме этого, на формирование энтомофауны значительное воздействие оказывает фенология возделываемых растений и создающийся на полях с различными культурами специфический микроклимат. Благоприятный микроклимат, многолетнее бессменное произрастание на одном месте, отсутствие обработок почвы создают оптимальные условия обитания для насекомых, как фитофагов, так и энтомофагов и паразитов, в севооборотах с многолетними травами. Здесь формируется энтомокомплекс со значительным видовым разнообразием. К примеру (О.Г.Чамурлиев и др., 1999), из 254 видов зарегистрированных на люцерне доминируют и субдоминируют 10-15. Такое полидоминантное сообщество обладает способностью саморегулирования, имеет большое значение в поддержании экологического равновесия в агроценозе, являясь эффективным источником миграции полезных насекомых на соседние поля. Полезных насекомых в севооборотах с многолетними травами в 2,4-2,7 раза больше, чем в севообороте с пропашными культурами. Соотношение численности энтомофагов и вредителей составляет здесь 1:4,7 – 1:6,7. При этом возможно саморегулирование энтомокомплекса.

В севооборотах значительна роль многолетних трав, как резервата и места переживания такой важной группы почвенных энтомофагов, как жужелицы. Указанные выше оптимальные условия ведут здесь к увеличению численности и видового разнообразия представителей этого семейства. Среди почвенных энтомофагов около половины – 100%-ные хищники, а виды со смешанным питанием не приносят существенного вреда возделываемым культурам. В период размножения с полей многолетних трав жужелицы мигрируют на соседние поля, где увеличивается их видовой состав и общее количество в 1,5 раза.

В севообороте, включающем только пропашные культуры, технологический цикл выращивания которых от посева до уборки ограничен вегетационным периодом года, энтомофаги и паразиты являются временными обитателями, поскольку ежегодные катастрофические воздействия на экосистему поля не позволяют абсолютному большинству видов проходить цикл развития. Здесь наблюдается самая низкая численность полезной энтомофауны, в то время как средне сезонное обилие видов, повреждающих сельскохозяйственные культуры в 1,3 раза выше.

Низкое видовое разнообразие энтомокомплексов, неблагоприятное соотношение численности полезных и вредных видов указывают на неустойчивость сообщества, формирующегося в севообороте с пропашными культурами, невозможность саморегулирования энтомофауны.

Как правило, именно севооборотам отводится основная роль в стабилизации фитосанитарной ситуации. При научно обоснованном подборе культур, качественном и своевременном выполнении всех предусмотренных агротехнических мероприятий в севооборотах осуществляется саморегулирование энтомокомплексов, численность фитофагов и количество сорной растительности не превышает экономических порогов вредоносности.

Однако следует иметь в виду, что после возделывания многолетних трав, а также кукурузы на силос и повторных посевов озимой пшеницы суммарная численность почвообитающих вредителей значительно превосходит экономический порог вредоносности (В.М.Смирных, Г.С.Когут, 2003).

Н.В.Гуляк (2012) также подчеркивает, что существенную роль в ограничении размножения вредителей играет предшественник. Так, в севооборотах с короткой ротацией, где кукурузу высевали после 3-х лет выращивания культур сплошного сева, численность вредителей, что живут в почве, увеличивается в 4 раза. Посев кукурузы после многолетних трав и через 2-3 года после люцерны не допускается, поскольку в большинстве случаев её всходы изреживаются и зарастают сорняками, преимущественно пыреем ползучим, где происходит накопление проволочников. При введении в севооборот одного поля гороха или гречихи количество проволочников уменьшается (О.М.Довгеля и др., 2008). Кроме того, насыщение севооборота многолетними травами приводит к повышению повреждения растений кукурузы личинками кузнечиков и увеличению их численности в 2-2,5 раза. Посев кукурузы после гороха и гречки обуславливает создание неблагоприятных условий для развития вредителей и соответственно уменьшает их численность до экономически ощутимого уровня – 2,3-2,8 экз./м<sup>2</sup> (тогда как экономический порог вредоносности составляет 3-5 экз./м<sup>2</sup>). Вообще же отсутствие чередования культур приводит к массовому накоплению вредителей и высокой степени повреждения растений ( Н.В.Гуляк, 2012).

### **3.3.2. Особенности миграции насекомых**

Перемещение биоты в процессе непреднамеренной и преднамеренной интродукции организмов в различных биогеографических областях – один из

ведущих факторов антропогенной трансформации биоразнообразия. Данное явление рассматривают на 3 уровнях (В.М.Масляков, 1999): глобальном; региональном; локальном.

На глобальном уровне необходимо представить структуру биотического дождя, выпадающего на любой территории.

На региональном – проанализировать ход расселения адвентивных видов (скорость в зависимости от биологических свойств, особенности становления ареала).

Локальный уровень предполагает конкретные точки наблюдений за новым организмом.

Для получения оценочной картины перемещения насекомых, как правило, проводится анализ территории по следующим позициям (В.М.Масляков, 1999):

- 1) систематическое положение организмов;
- 2) биогеографическая область, откуда произошел завоз;
- 3) год завоза;
- 4) биогеографическая область, куда завезли;
- 5) функционально – биоценотическое значение этого насекомого (копрофаг, паразитоид и т.д.);
- 6) экосистема: природная, полуприродная (парк), антропогенный экологический комплекс.

Под воздействием человека наблюдается глобальное изменение ареалов расселения организмов. Образование вторичных антропогенных ареалов рассматривается через процесс унификации биот или симметризации ареалов. Основная предпосылка этого построения – представления о формировании ареалов на основе несовершенной симметрии солярной климатической поясности Земли. Процессы выравнивания географической среды, снятие барьеров через антропогенное воздействие ведут к уменьшению числа диссимметричных узких ареалов и к нарастанию числа вторичных (антропогенных) ареалов широко распространяющихся видов, что приводит к утрате эндемума локальных и симметризации обедненных антропогенных биот.

Структура состава «биотического дождя» насекомых отражает структуру мирового сбыта растительной продукции и связано, скорее всего, с переводом насекомых – антропофилов, обладающих широким потенциальным ареалом. Большая часть адвентивных насекомых относится к филофагам (В.М.Масляков, 1999).

Реализация многоменискового потенциального ареала происходит, прежде всего, в формировании американо-европейских (лидеры в этом процессе), азиатско-американских, американо- и, африкано-австралийских ареалов. Это вполне соответствует общему процессу антропогенной симметризации биот. В северном полушарии Восточно-американская подобласть и Европейская лесная провинция стали конечными пунктами назначения в структуре потоков перемещаемых насекомых, а в Южном – таковыми являются Австралийская и Патагоно – Андийская подобласти.

Направление запад-восток и обратно в обоих полушариях и разных поясах преобладает в образовании вторичных ареалов.

Представление о симметризации биот – наиболее перспективная модель в оценке процесса перемещения биот, связывающей свойства ареала, его организацию в пространстве, географическое распределение таксонов с параметрами древности, климатическими границами крупных географических отделов.

Насекомые-фитофаги способны распространяться за пределы мест своего обитания самостоятельно в результате активных миграций и путем естественного переноса, а также антропогенными путями (М.К.Миронова, С.С.Ижевский, 2002).

Естественный путь распространения – это и активный лет взрослых насекомых, и распространение по воздуху (ветром) и воде (морскими течениями). Именно так впервые на территорию бывшего СССР проник колорадский жук (*Leptinotarsa decemlineata* Say). Огромное количество взрослых особей было занесено из соседних зарубежных территорий с помощью ветра. Одновременно масса жуков, попавшая в результате сноса в воды Балтийского моря, выносилась на берег в Калининградской области.

Подобные миграции предотвратить невозможно. И фитосанитарных мер, предотвращающих естественные инвазии насекомых, быть не может. Можно лишь прогнозировать и подготовиться к появлению мигрантов, своевременно выявлять первые случаи заноса и определять потенциальные их ареалы.

Иная ситуация с антропогенными инвазиями растительноядных насекомых, обусловленными международной торговлей растительной продукцией или другими формами межгосударственного обмена материалами, грузами, товарами. Для подобных ситуаций разработаны эффективные карантинные меры, позволяющие предотвращать проникновение и распространение вредных (карантинных) насекомых за пределы их первичных мест обитания.

Антропогенные инвазии таких насекомых могут происходить (М.К.Миронова, С.С.Ижевский, 2002):

- 1) с посадочным материалом (с черенками, клубнями, луковицами, корневищами и др.),
- 2) с плодами (фруктами, овощами и пр.),
- 3) с декоративными растениями в горшках и контейнерах,
- 4) с цветочной срезкой,
- 5) с семенами и продукцией их переработки (жомы, жмыхи),
- 6) с лесоматериалом (под корой, в трещинах бревен, в древесине и т.д.),
- 7) с почвой, грунтом и др. субстратами,
- 8) с упаковочным материалам, тарой,
- 9) с транспортом,
- 10) непосредственно человеком.

Возможные пути антропогенного переноса на территорию России основных видов карантинных насекомых показаны в табл.2.38. Некоторые из

**Таблица.2.38** Реальные и возможные пути инвазий насекомых-фитофагов на территории РФ (М.К.Миронова, С.С.Ижевский, 2002)

Пути возможных инвазий	Виды насекомых
1	2
С посадочным материалом	<p>Хлопковая белокрылка (<i>Bemisia tabaci</i>)                      Калифорнийский трипс (<i>Frankliniella occidentalis</i>)                      Восточная плодоярка (<i>Grapholitha molesta</i>)                      Американская белая бабочка (<i>Huphantria cunea</i>)                      Листовые минеры (р. <i>Liriomyza</i>)                      Картофельные долгоносики (р. <i>Premnotrypes</i>)                      Тутовая щитовка (<i>Pseudaulacaspis pentagona</i>)                      Калифорнийкая щитовка (<i>Quadraspidiotus perniciosus</i>)                      Хлопковые совки (р. <i>Spodoptera</i>)                      Трипс Пальми (<i>Thrips palmi</i>)                      Виноградная филлоксера (<i>Viteus vitifoliae</i>)</p>
С овощами и фруктами	<p>Хлопковая белокрылка (<i>B. tabaci</i>)                      Персиковая плодоярка (<i>Carposina niponensis</i>)                      Средиземноморская плодовая муха (<i>Ceratitis capitata</i>)                      Калифорнийский трипс (<i>F. occidentalis</i>)                      Восточная плодоярка (<i>G. molesta</i>)                      Листовые минеры (р. <i>Liriomyza</i>)                      Картофельная моль (<i>Phthorimea operculella</i>)                      Японский жук (<i>Popillia japonica</i>)                      Картофельные андийские долгоносики р.<i>Premnotrypes</i>                      Тутовая щитовка (<i>P. pentagona</i>)                      Калифорнийкая щитовка (<i>Q. perniciosus</i>)                      Яблонная муха (<i>Rhagoletis pomonella</i>)                      Хлопковые совки (р. <i>Spodoptera</i>)                      Трипс Пальми (<i>Th. palmi</i>)</p>
С цветочной срезкой	<p>Хлопковая белокрылка (<i>B. tabaci</i>)                      Калифорнийский трипс (<i>F. occidentalis</i>)                      Листовые минеры (р. <i>Liriomyza</i>)                      Трипс Пальми (<i>Th. palmi</i>)                      Хлопковые совки (р. <i>Spodoptera</i>)</p>
С горшечными и контейнерными цветочно-декоративными культурами	<p>Хлопковая белокрылка (<i>B. tabaci</i>)                      Калифорнийский трипс (<i>F. occidentalis</i>)                      Листовые минеры (р. <i>Liriomyza</i>)                      Японский жук (<i>P. japonica</i>)                      Калифорнийкая щитовка (<i>Q. perniciosus</i>)                      Хлопковые совки (р.<i>Spodoptera</i>)                      Трипс Пальми (<i>Th. palmi</i>)</p>



1	2
С семенами и зерном	Капровой жук ( <i>Trogoderma granarium</i> ) Зерновки (р. <i>Callosobruchus</i> )
С лесоматериалами	Азиатский усач ( <i>Anoplophora glabripennis</i> ) Американская белая бабочка ( <i>H. cunea</i> )
С почвой и грунтами	Плодовый долгоносик ( <i>Conotrachelus nenuphar</i> ) Жуки-блошки клубневые р. <i>Epitrix</i> Японский жук ( <i>P. japonica</i> ) Яблонная муха ( <i>Rh. pomonella</i> )
С тарой	Азиатский усач ( <i>A. glabripennis</i> ) Плодовый долгоносик ( <i>C. nenuphar</i> ) Кукурузный жук ( <i>Diabrotica virgifera virgifera</i> ) Калифорнийский трипс ( <i>F. occidentalis</i> ) Американская белая бабочка ( <i>H. cunea</i> ) Японский жук ( <i>P. japonica</i> ) Яблонная муха ( <i>Rh. pomonella</i> ) Хлопковые совки (р. <i>Spodoptera</i> ) Трипс Пальми ( <i>Th. palmi</i> ) Капровой жук ( <i>T. granarium</i> )
С транспортом	Азиатский усач ( <i>A. glabripennis</i> ) Кукурузный жук ( <i>D. virgifera</i> ) Американская белая бабочка ( <i>H. cunea</i> ) Японский жук ( <i>P. japonica</i> ) Капровой жук ( <i>T. granarium</i> )

перечисленных насекомых во взрослом состоянии или на предимагинальных стадиях имеют мелкие (1-2 мм) размеры, не видны невооруженным глазом, ведут скрытый образ жизни (в разнообразных естественных укрытиях или внутри растительных тканей). Их трудно обнаружить, а, следовательно, и предотвратить проникновение в новые районы. В подобных случаях для обнаружения вредителей такой фитосанитарной меры как визуальный осмотр растений (называемый в карантинной службе досмотром) оказывается явно недостаточно. Выявить такие виды насекомых и предотвратить их занос удастся только в результате тщательного наблюдения за развитием растений и при досмотре экспортируемых партий в местах производства товара в стране-экспортере (М.К.Миронова, С.С.Ижевский, 2002).

Еще один способ выявления скрытой зараженности – тщательные квалифицированные наблюдения за импортированными растениями в местах их временной или постоянной высадки в течение необходимого времени.

Зная пути инвазий, можно проанализировать и оценить возможности заноса и обоснования тех или иных видов насекомых на территории РФ.

Наиболее благоприятным (и вероятным) путем для инвазий является ввоз посадочного материала. Растения при этом, как правило, поступают из регионов с оптимальными условиями их произрастания, а значит – и оптимальными для развития насекомых, трофически с ними связанными. В процессе транспортировки растений для них создаются специальные (щадящие) условия. А, тем самым, и благоприятные для сопутствующих им насекомых. Меньший риск заноса чужеземных насекомых связан с ввозом горшечных и срезанных растений, если только они не предназначены для хранения и содержания в условиях закрытого грунта.

Относительно невысокую опасность представляет ввоз овощей и фруктов. Насекомые, которые могут быть занесены с ними, опасны в тех случаях, если смогут обосноваться в условиях закрытого грунта, либо станут вредителями растений в открытых стациях в южных регионах (М.К.Миронова, С.С.Ижевский, 2002).

Очень опасны также те виды, которые распространяются активно (путем естественных миграций). Из отсутствующих карантинных видов это, прежде всего, западный кукурузный жук.

Трипсы и минеры опасны тем, что имеют мелкие размеры и часть жизненного цикла проводят внутри растительных тканей. Их невозможно обнаружить при визуальном осмотре растений, и они могут быть занесены в страну даже при соблюдении всех фитосанитарных правил досмотра.

Исследование путей инвазий чужеземных насекомых-фитофагов позволяет оценить степень риска, связанного с проникновением их на новые территории, и оптимизировать потоки грузов с подкарантинной продукцией (Миронова М.К., Ижевский С.С., 2002).

Пассивно, с любыми товарами и продукцией, а также на транспортных средствах может быть занесено (и заносится) огромное количество видов насекомых не только из стран, с которыми имеются прямые межгосударственные контакты, но и в результате реэкспорта (С.С. Ижевский, 2002).

Судьба чужеземных инвазионных видов на новой территории может быть различной. Значительная часть их по разным причинам не обосновывается. Процесс обоснования включает в себя не только акклиматизацию, но и многие другие факторы, в частности, способность противостоять местным энтомофагам и конкурентам. Вероятно, многих из них не успевают отметить даже специалисты-энтомологи. Некоторые из чужеземных видов успешно заселяют новую территорию и довольно быстро достигают высокой численности. Как только плотность популяций превышает допустимое пороговое значение, они приобретают статус вредителей (картофельная моль). Существует и третья, промежуточная группа. Образовавшиеся популяции таких видов длительное время находятся на низком уровне плотности. Судьба их складывается по-разному. Они могут постепенно исчезнуть (средиземноморская плодовая муха в районе Новороссийска и Одессы), длительное время оставаться на низкой численности (японская палочковидная щитовка на Черноморском побережье Краснодарского края). Но могут и резко

повысить численность, перейдя в ранг вредителя (табачная белокрылка в Средней Азии).

Никто не знает, сколько видов, относится к первой группе. Количество видов в третьей группе может быть оценено с большей или меньшей точностью. И абсолютно точно известно количество видов, относящихся ко второй группе. Большинство из них, хотя и не все, имеют статус карантинных. По нашим данным (С.С.Ижевский, 1990), общее количество обосновавшихся на территории бывшего СССР чужеземных растительноядных видов, входящих во вторую и третью группы, приближалось к 100 (без учёта вредителей тепличных и оранжерейных растений).

Происхождение адвентивных (чужеземных, прочно обосновавшихся на новой территории) фитофагов в пределах бывшего СССР различно. Большая их часть – виды восточно-азиатского происхождения. Их занос был в основном связан с многолетней интродукцией из этого региона плодовых, цитрусовых и декоративных субтропических культур. Обосновались они преимущественно на территории закавказских и среднеазиатских республик бывшего СССР.

Есть среди них виды, чьей родиной является Австралия (ицерия), Южная Америка (картофельная моль), Средиземноморье (имеретинская виноградная подушечница), представителей североамериканской фауны.

С Северо-Американским континентом Евразия издавна обменивается своеобразными «подарками», среди которых есть и весьма «дорогие» (табл. 2.39). Проникновение и обоснование каждого из указанных видов повлекли за собой по обоим берегам Атлантического океана многомиллионные убытки.

Согласно (С.С.Ижевский, 2002), наибольшие шансы для обоснования чужеземных видов имеют две группы растительноядных насекомых. Первая – насекомые-полифаги, вторая – виды, питающиеся ранее интродуцированными в Европу растениями – своей обычной на родине «пищей».

Среди нынешних представителей североамериканской фауны может быть назван целый ряд насекомых-полифагов – наиболее вероятных кандидатов на занос в Европу, в том числе в Россию и Украину (табл. 2.40).

Среди выращиваемых у нас сельскохозяйственных культур едва ли не основные – картофель, томат, табак, кукуруза, подсолнечник – родом с Американского континента. Ими в Европе питаются многочисленные местные (аборигенные) многоядные насекомые. Некоторые из них стали реальными вредителями, например кукурузный мотылек – на кукурузе, подсолнечниковая огнёвка – на подсолнечнике.

Однако большую угрозу представляют фитофаги с Американского континента, специализирующиеся там на питании указанными растениями. Попадая в Евразию “вдогонку” за основными своими кормовыми растениями и находя их здесь, именно такие виды приобретают статус наиболее опасных вредителей. К примеру: колорадский жук, «догнавший» картофель; американская белая бабочка, «догнавшая» клен ясенелистный (американский); кукурузный жук, «догнавший» кукурузу.

К счастью, далеко не все североамериканские растительноядные насекомые, способные стать у нас вредителями, уже проникли сюда. Большая

их часть “отстала” от своих кормовых растений и не вышла за пределы первичного ареала. Но процесс межконтинентальных переносов насекомых не прекращается; напротив, он имеет тенденцию к ускорению.

**Таблица 2.39.** Примеры «обмена» вредителями растений между Северной Америкой и Евразией (С.С. Ижевский, 2002)

Виды, занесенные в США	Виды, занесенные в Россию
Непарный шелкопряд ( <i>Lymantria dispar</i> )	Колорадский жук ( <i>Leptinotarsa decemlineata</i> )
“Русская пшеничная тля” ( <i>Diuraphis noxia</i> )	Кровяная яблонная тля ( <i>Eriosoma lanigerum</i> )
Яблонная плодожорка ( <i>Laspeyresia pomonella</i> )	Восточная плодожорка ( <i>Grapholitha molesta</i> )
Люцерновый слоник ( <i>Phytonomus variabilis</i> )	Филлоксера ( <i>Viteus vitifolii</i> )
Кукурузный мотылек ( <i>Ostrinia nubilalis</i> )	Американская белая бабочка ( <i>Huphantria cunea</i> )

**Таблица 2.40.** Растительоядные насекомые – представители североамериканской фауны – наиболее вероятные кандидаты на занос в Россию (С.С.Ижевский, 2002)

Пищевые связи	Ожидаемые заносы
Полифаги	Минирующие мухи ( <i>Liriomyza</i> spp.)
	Трипсы ( <i>Thripidae</i> )
	Плодовый долгоносик ( <i>Conotrachelus nenuphar</i> )
	Японский жук ( <i>Popilia japonica</i> )
	Яблонная муха ( <i>Rhagoletis pomonella</i> )
Картофель	Картофельные жуки-блошки ( <i>Epiditrix</i> spp.)
Кукуруза	Кукурузный жук ( <i>Diabrotica</i> spp.)
Подсолнечник	<i>Gymnocarena diffusa</i> ( <i>Tephritidae</i> )
	<i>Neotephritis finalis</i> ( <i>Tephritidae</i> )
	<i>Neolasioptera helianthi</i> ( <i>Cecidomyiidae</i> )
	<i>Haplorthynchites aeneus</i> ( <i>Curculionidae</i> )
	<i>Smicronyx fulvus</i> ( <i>Curculionidae</i> )
	<i>Smicronyx sordidus</i> ( <i>Curculionidae</i> )

Как уже говорилось, сам по себе занос чужеземного вида еще не означает появление нового вредителя. Поэтому прогноз появления такого должен включать как прогноз вероятности проникновения на территорию чужеземного растительоядного насекомого (анализ риска заноса), так и прогноз вероятности его обоснования на новой территории (анализ риска обоснования).

Для прогнозирования возможности и оценки вероятности проникновения нового вида необходимо и достаточно руководствоваться алгоритмом, включающим 6 последовательных шагов (любая дополнительная информация, естественно, будет повышать достоверность прогноза) (С.С.Ижевский, 2002): 1. Прежде всего, следует установить первичный ареал растения, вредитель которого ожидается. 2. Затем следует собрать сведения по питающимся им

насекомым и охарактеризовать их пищевую специализацию и специфичность. 3. Изучить характер личиночного и имагинального питания. 4. Установить способность к активным миграциям. 5. Оценить возможность и характер антропогенного переноса. 6. И, наконец, определить, имеются ли климатические аналоги на территории двух зон (страны-донора и страны-реципиента).

Понятно, что с наибольшей точностью ответить на все эти вопросы можно в процессе исследований на территории страны, откуда родом ожидаемые пришельцы. За неимением такой возможности приходится проводить виртуальные исследования.

Именно таким способом был проведен анализ риска проникновения (заноса) на территорию России неарктических фитофагов подсолнечника (С.С.Ижевский, 1997). Из 169 проанализированных видов насекомых (относящимся к 43 семействам), которые питаются культурным подсолнечником в Северной Америке, в качестве наиболее вероятных кандидатов на занос и акклиматизацию было отобрано всего 6 (табл. 2.40).

Не исключена вероятность заноса и других видов. Наиболее вероятными кандидатами на проникновение на территорию России являются представители всего трех семейств: *Tephritidae* (пестрокрылки), *Cecidomyiidae* (галлицы) и *Curculionidae* (долгоносики) (С.С.Ижевский, 2002).

Итак, насекомых – кандидатов на занос в Россию из Северной Америки можно условно разделить на две небольшие группы (С.С.Ижевский, 2002). Первая группа – наиболее вероятные кандидаты на занос (их имаго постоянно находятся на цветущих корзинках, что существенно повышает шансы на перенос с цветущими растениями). В нее мы включаем 6 видов: пестрокрылок *Gymnocarena diffusa* и *Neotephritis finalis*, галлицу *Neolasioptera helianthi* и долгоносиков *Haplorthynchites aeneus*, *Smicronyx fulvus* и *S. sordidus*. Вторая группа (занос которых вероятен) включает 4 вида. Это огневка *Homoeosoma electellum*, бабочка-кохилида *Cohilis hospes*, листовертка *Suleima helianthana* и галлица *Contarinia schulzi*.

Приведенные в табл.2.40 дополнительные сведения о фауне палеарктических насекомых, трофически связанных с подсолнечниками, позволяют, сделать предположение о высокой степени вероятности обоснования указанных видов на подсолнечнике в случае их заноса. Выделенные виды относятся к семействам, представители которых либо полностью отсутствуют на подсолнечнике на территории России (*Cochylidae*, *Tortricidae*, *Cecidomyiidae*, *Tephritidae*), либо встречаются здесь намного реже, чем в Северной Америке (*Curculionidae*, *Pyralidae*). Наличие на подсолнечнике в Палеарктике свободных трофических ниш существенно увеличивает шансы на обоснование видов, занимающих такие ниши в первичном ареале этого растения.

Из 169 видов насекомых, трофически связанных с культурным подсолнечником в Северной Америке, С.С.Ижевский (1997) отобрал 10 наиболее вероятных кандидатов на случайный занос в Европу и, в частности, на территорию России. С позиций оценки степени риска наиболее вероятен занос

следующих видов: пестрокрылок *Gymnocarena diffusa*, *Neotephritis finalis*, галлицы *Neolasioptera helianthi* и долгоносиков *Haplorthynchites aeneus*, *Smicronyx fulvus*, *S. sordidus*. В меньшей степени, но также вероятен занос огневки *Homoeosoma electellum*, бабочки-кохилиды *Cochilis hospes*, листовертки *Suleima helianthana* и галлицы *Contarinia schulzi*. Своевременная подготовка карантинной службы к их встрече существенно повысит вероятность предотвращения нежелательного заноса.

#### **Экспансия колорадского жука.**

В настоящее время достаточно хорошо изучена экспансия колорадского жука (Н.А.Вилкова и др., 2001). Его роль в недоборе урожая по силе отрицательного влияния не уступает недостатку или избытку влаги, почвенной и атмосферной засухе, недостатку питательных веществ (С.М.Свидерская, 2009). Рассмотрим причины и скорость миграции насекомых на его примере.

Колорадский жук занимает особое положение среди вредителей сельскохозяйственных культур. Стремительное завоевание им новых территорий и многократное нарастание численности этого вида классифицируются как «экологический взрыв». Энергия этого взрыва, начавшегося 140 лет назад в Северной Америке и носящего характер экспансии, т.е. массовых нашествий не ослабевает и в наши дни, несмотря на комплекс карантинных, профилактических и истребительных мер, предпринимаемых во всех странах, куда проник вредитель. В отдельных странах заселенность вредителем достигает 100%, потери урожая от него даже при проведении защитных мероприятий нередко достигают 30%. Считается, что причины экспансии колорадского жука кроются в его биоэкологических особенностях и антропогенных факторах. Колорадский жук – один из 48 видов листоедов филогенетически молодого рода *Leptinotarsa*, которые обитают в засушливых и полузасушливых зонах южной части Северной Америки на нескольких видах пасленовых. В этом роде по данным систематиков, продолжаются интенсивные процессы формо- и видообразования. Это согласно современной теории эволюции, предполагает генетическую полиморфность и связанную с этим повышенную пластичность формирующихся видовых систем. Его становление проходило в природных биогеоценозах горной субаридной зоны, отличающейся экспериментальными абиотическими условиями с большой амплитудой колебаний гидротермических параметров. Это предопределило отбор его генотипов с максимально широкой нормой реакции на абиотические условия существования. В сопряженной эволюции в системе биогеоценоза сформировались и совершенствовались его взаимосвязи в цепях питания с основными кормовыми растениями (паслен колючий и др.) и консументами более высоких порядков – энтомофагами и энтомопатогенами.

Первое значительное расширение ареала колорадского жука и вспышка численности, датируемые 1859 г, связаны с соприкосновением природных очагов его обитания с расширяющимися посадками культурного картофеля и переходом фитофага на новое кормовое растение. Эту дату и считают началом «экологического взрыва» численности колорадского жука с его главным атрибутом – полномасштабной территориальной экспансией. И если в

природных саморегулирующихся биогеоценозах в эволюционно сложившихся цепях питания регуляторами его численности, помимо иммуногенетической системы исходного кормового растения – паслена колючего – служили специализированные и многоядные энтомофаги и энтомопатогены то, перейдя в агроценозы культурного картофеля, отличающиеся обилием корма с более высокой пищевой ценностью и ослабленной иммуногенетической защитой, вредитель как бы вышел из-под контроля естественных регуляторов его численности. В природных же биогеоценозах совокупная роль иммунологических свойств кормового растения, специализированных энтомофагов колорадского жука оценивается высоко – на уровне 80-90% элиминации его популяций.

Характерная особенность расселения колорадского жука, как в Америке, так и в Евразии – его активное продвижение на восток и северо-восток со средней скоростью в различные годы от 70 до 200 км в год и несколько медленнее – на север, юг и юго-восток. Это обусловлено, как преобладающим направлением ветров в летнее время во всем северном полушарии, так и биологическими особенностями жука, в том числе его отрицательным гелиотаксисом. Точных данных о положении современных границ ареала в Евразии пока нет. Известно, что жук уже обитает на территориях Ленинградской, Вологодской, Кировской, Пермской, Свердловской, Тюменской, Омской и Новосибирской областей, Республики Коми, в Закавказье и ряде областей Казахстана. В 1978 г. начал формироваться новый, изолированный от остального ареала, крупный очаг вредителя в Средней Азии. В последние годы жук обнаружен на юге Швеции и Финляндии, в Сирии, Иране и отдельных районах Китая.

Общий ареал колорадского жука за 140 лет его экспансии увеличился в 2,5 тыс. раз, превысив уже в 1990 г. 12 млн. км<sup>2</sup> против первоначальных 5 тыс. км<sup>2</sup>. При этом период постоянного присутствия колорадского жука в Европе достиг 80 лет, в бывших границах СССР – 40 лет, в Передней Азии (Турция) – более 30 лет, в Средней Азии – 20 лет.

К числу биоэкологических и биоценологических причин экспансии колорадского жука, особенно в условиях Евразии относят (Н.А.Вилкова и др., 2001):

1. Эврибионтность вида, то есть способность существовать при широкой амплитуде абиотических и биотических условий среды, в основе которой лежит его видовая, популяционная и индивидуальная экологическая пластичность, обусловленная как высокой степенью адаптационного полиморфизма вида в связи с генетической гетерогенностью его популяций, так и широкими пределами индивидуальных норм реакций особей (генотипов) по большинству эколого-физиологических параметров. Эти особенности насекомого, как отмечено выше, связаны с его филогенетической молодостью вида и спецификой эволюционного формирования в суровых и крайне нестабильных условиях горной субаридной зоны.
2. Физиологическую пластичность, обусловленную широким спектром физиологических адаптаций, в том числе лабильностью состояний

физиологического покоя, включающих сон, олигопаузу и различные модификации диапаузы.

3. Более высокий, чем у других насекомых КПД усвоения пищи – процент калорий, использованных на увеличение массы тела. Если у представителей чешуекрылых и равнокрылых он обычно составляет 26-33%, то у колорадского жука достигает 45,4%.

4. Две адаптивные онтогенетические стратегии переживания видом неблагоприятных условий. Для южных районов ареала с 2 генерациями в популяциях вредителя характерна более высокая доля особей с физиологическим покоем и суперпаузой (многолетней диапаузой), а для более северных районов с одной генерацией характерно удлинение индивидуальной жизни особей.

5. Высокую миграционно-расселительную способность, в сочетании с благоприятным географическим положением первичных очагов, как в Америке, так и в Европе, по отношению к которым зоны массового картофелеводства располагались к востоку, то есть в направлении наиболее вероятных естественных миграций вредителя.

6. Практическое отсутствие в агробиоценозах картофеля, особенно в первые годы после инвазии фитофага, сдерживающих его факторов биocenотической регуляции.

С экологической пластичностью колорадского жука связана легкость адаптации его популяций к новым условиям обитания в процессе расселения по территории и кормовым растениям. Однако при этом происходят микроэволюционные преобразования структуры популяций вида адекватно местным условиям путем отбора наиболее приспособленных форм. Поскольку по мере экспансии жук осваивает все более широкий спектр экологических условий, его адаптивная микроэволюция носит характер внутривидовой дивергенции. Современная структура колорадского жука сложная, включает все известные систематикам биотаксономические единицы, в том числе эколого-географические расы на уровне экотипов и даже подвидов. Только во вторичном ареале вида выделяют 7 экотипов, своеобразных фенотипически и биологически и связанных с основными агроклиматическими зонами Восточной Европы и Азии. Зоны обитания экотипов различаются спецификой набора видов и сортов пасленовых культур и иными особенностями агробиоценозов.

Характер внутривидовой структуры колорадского жука в его нынешнем ареале позволяет считать, что в процессе дивергентной микроэволюции данный вид не просто реализовал свой адаптивный потенциал, но и существенно приумножил его, расширив пределы видовых норм реакций на целый ряд абиотических и биотических факторов.

Проникнув на Евразийский континент, жук попал в своеобразную биocenотическую ситуацию, отличную от американской. Отсутствие в Евразии специализированных энтомофагов ограничило пищевую цепь агробиocenозов картофеля всего 2 составляющими: кормовым растением и фитофагом. В Европе и Азии выявлено 293 вида потенциальных энтомофагов колорадского



жука из числа многоядных хищников и паразитов. Среди них выделено 17 наиболее массовых, широкоареальных и, вероятно экологически пластичных видов, способных постепенно адаптироваться к питанию колорадским жуком (зикрона синяя, лигус полевой, лигус травяной, набис схожий, набис хищный, ориус черный, головач обыкновенный, жужелица волосистая, красотел золотоямчатый, пецилос бороздчатый, пецилос медный, пецилос степной, птеростихус обыкновенный, птеростихус черный, коровка изменчивая, коровка семиточечная, златоглазка обыкновенная). Комплекс природных энтомопатогенов, способных вызывать эпизоотии вредителя, включает представителей более 25 родов грибов, бактерий, простейших, актиномицет и нематод. Однако сдерживающая вредителя роль не специализированных энтомофагов и энтомопатогенов в Евразии начинает сказываться постепенно и далеко не сразу, так как процесс их адаптации к питанию колорадским жуком и формирования полных цепей питания в местных агробиоценозах занимает в разных зонах от 18-20 до 30-40 лет после инвазии фитофага, то есть этот процесс идет значительно медленнее, чем в Америке при наличии специализированных видов энтомофагов. Объяснение этому феномену следует искать в специфике пасленовых культур, отличающихся широким спектром абиотических веществ (вещества вторичного обмена, ингибиторы и т.п.) и адаптированностью колорадского жука к высокому содержанию определенных форм этих соединений.

Депрессирующее действие иммуногенной системы растений на популяции колорадского жука долгое время не ощущалось по причине отсутствия устойчивых к вредителю сортов картофеля, как в Америке, так и в Евразии, до 30-х годов селекция картофеля велась лишь на основе внутривидового биоразнообразия, не обладающего выраженными иммуногенетическими свойствами. Только к середине XX века, года селекционные программы по картофелю стали строиться на основе межвидовой гибридизации, появились генотипы этой культуры с высокой степенью устойчивости к колорадскому жуку. И уже в 40-е годы широкое возделывание в Америке устойчивого сорта Кеннебек дало заметный экологический и экономический эффект. Сдерживание численности и вредоносности колорадского жука в Западной Европе относят к 50-70-м годам, когда произошла резкая сортомена в картофелеводстве и получили широкое распространение устойчивые сорта. Причина наблюдаемой стабилизации численности колорадского жука в Западной Европе и заложена в совокупном действии иммуногенетической системы растений и адаптировавшихся к вредителю за 50-80 лет популяций местных энтомофагов и энтомопатогенов.

На основании накопленных данных об экспансии колорадского жука в Евразии выделяют (Н.А.Вилкова и др., 2001) 3 агробиоценотические зоны в ареале вредителя (табл.2.41). Специфика этих зон определяется особенностями динамики структуры популяций, численности и вредоносности жука в зависимости главным образом от «возраста очага», то есть длительности периода обитания вредителя в данной местности с момента его инвазии, с чем связаны состояние трофических цепей в структуре агробиоценоза и его

потенциальная способность к саморегуляции. В качестве 4-той зоны можно рассматривать Северную Америку, специфика которой состоит в наличии эволюционно сложившегося комплекса специализированных видов энтомофагов, а возраст всех местных популяций превысил 100 лет.

**Таблица 2.41.** Агробиоценотические зоны в пределах современного ареала колорадского жука в Евразии (Н.А.Вилкова и др., 2001)

Параметры зональных характеристик	3 зона – стабилизации и саморегуляции агробиоценозов	2 зона – промежуточная зона	1 зона – «наступательной волны» колорадского жука
Продолжительность периода обитания колорадского жука («возраст очагов»)	более 30 лет	10-30 лет	менее 10 лет
Распространение жука	повсеместное	повсеместное	очаговое
Численность и вредоносность жука	снижаются	максимальные	нарастают
Микроэволюционные процессы адаптации популяций жука к местным условиям обитания	локальные (происходят при изменениях экологической ситуации)	локальные (происходят при изменениях экологической ситуации)	повсеместные
Фенотипическая структура природных популяций колорадского жука	при постоянстве условий среды стабильна и соответствует характеристикам экотипа конкретной агроклиматической зоны		в стадии направленного формирования
Роль устойчивых сортов растений в биоценотической регуляции численности	преобладающая	преобладающая	решающая
Процент видов многоядных энтомофагов, адаптировавшихся к питанию вредителем	до 100%	10-50 %	0-10%
Населенные пункты, входящие в зону (выделены места первичного завоза)	<b>Гамбург</b> , Варшава, Калининград, Рига; <b>Бордо</b> , Париж, Прага, Ужгород, Кишинев, Киев, Стамбул	Псков, Новгород, Москва, Нижний Новгород, Киров; Самара, Ереван, Дамаск	Хельсинки, Петербург, Вологда, Сыктывкар, Тюмень; Бешкек, Тегеран

Во 2-ой и особенно в 1-ой зонах основная роль по сдерживанию роста численности и вредоносности жука отводится устойчивым к вредителю сортам с сильным депрессирующим эффектом. При применении истребительных мер необходимо шадить полезную энтомофауну и применять микробиопрепараты.

Важно особо отметить, что в 3-й зоне – зоне стабилизации, где жук обитает более 30 лет, биоценотическая саморегуляция агроэкосистем с поддержанием численности вредителя не выше пороговой реально только при возделывании устойчивых сортов, так как при их отсутствии сдерживающий эффект даже адаптированных популяций энтомофагов и патогенов будет недостаточным (Н.А.Вилкова и др., 2001).

Механизм отрицательного влияния колорадского жука на формирование урожая картофеля и других пасленовых заключается в уничтожении части или всего фотосинтетического потенциала личинками или взрослыми особями в процессе питания. Важное биологическое и народнохозяйственное значение имеет срок выхода жуков из почвы. От него во многом зависит возможность реализации самками полового потенциала, продолжительность периода активности молодых жуков и интенсивность их ухода в диапаузу. Начало устойчивого выхода жуков из почвы совпадает с установлением среднесуточной температуры воздуха, близкой к 10°C. Большое значение для возобновления активной жизнедеятельности жуков имеют температурный режим, влажность почвы, а при созревании и откладывании яиц – условия питания и длина дня (С.М.Свидерская, 2009 и др.). В зависимости от условий среды и качества пищи, перезимовавшие самки могут откладывать яйца с весны до осени (в течение 2-3 месяцев). За это время одна самка вредителя может отложить до 1000-1500 яиц, из которых при благоприятных условиях может развиваться до 50% личинок старших возрастов и молодых жуков. Откладка яиц происходит при солнечной погоде, преимущественно в послеполуденные часы. В ночное время яйцекладка не происходит, прекращается она и при перемещении самок в темноту, при частичном затенении интенсивность яйцекладки снижается. При температуре 15-18°C интенсивность яйцекладки бывает слабой. Максимальная плодовитость колорадского жука проявляется при температуре 25°C, так как при более высокой температуре продолжительность жизни имаго сокращается. Оптимальная для яйцекладки относительная влажность воздуха составляет 60-75%, отрицательно сказывается температура до 14 °C и выше 26-27°C и относительная влажность ниже 45% и выше 80%.

В настоящее время теоретической базой разработки моделей развития вредителей являются представления о популяциях – элементарных структурных единицах экосистем как о динамических системах, развивающихся под воздействием внутренних и внешних факторов. Под внутренними факторами понимается физиологическая конституция, наследственно закрепленная у вида, а под внешними весь комплекс биологических и абиотических факторов, играющих для него роль условий жизни. Фундаментальным свойством, присущим любой популяции и характеризующим ее способность к размножению, является приспособленность. Она определяется как удельная скорость роста численности (N) или как среднее число потомков, производимых одной особью в единицу времени (t):

$$w(t) = \frac{1}{N} \frac{dN}{dt}.$$

В случае исследования динамики не в непрерывном, а в дискретном времени приспособленность определяется как отношение ее размеров в последовательные моменты времени:

$$g(k) = \frac{N(k+1)}{N(k)},$$

где  $g$  - приспособленность;  $k$  – момент времени ( $k = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

Скорость созревания жуков – суточные проценты развития – рассчитывается по уравнению:

$$y^* = \frac{100}{0,22x^2 - 8,738t + 4,1\Delta\tau + 94,6},$$

где  $y^*$ - скорость развития в процентах;  $t$  – температура воздуха;  $\Delta\tau$  – показатель календарного срока выхода жуков.

Суммарная плодовитость вычисляется по выражению:

$$\sum F_{np} = \sum_{s_{uv}^*}^{s_{uv}^{**}} \sum_{10} F(t, \tau)$$

как сумма декадных сумм яиц, откладываемых за период продуктивной яйцекладки. Здесь  $s_{uv}^*$  - предел, зависящий от срока выхода перезимовавших жуков и продолжительности их созревания;  $s_{uv}^{**}$  - предел, являющийся показателем конца периода продуктивной яйцекладки и определяется как дата той яйцекладки из которой имаго появляются до перехода осенью температуры воздуха через  $12^\circ\text{C}$ . В этом случае период перед паузой питания составляет 10-15 дней и часть имаго сможет подготовиться к перезимовке.

Для определения числа гибнущих особей колорадского жука за период их развития от яиц до имаго вычисляют среднее количество осадков, выпадающих за один день периода от начала массовой яйцекладки ( $s_{uv}^*$ ) до перехода температуры воздуха через  $12^\circ\text{C}$  осенью. Среднее суточное количество осадков умножается на среднюю продолжительность развития генерации и вычисляется средний процент гибели  $\mu_1$ :

$$\mu_1 = 34,54 \ln Q + 20,29 \ln \sum W - 141,0,$$

где  $Q$  – осредненная продолжительность развития генерации;  $\sum W$  - сумма осадков за период.

Гибель имаго за период зимовки, зависит от их физиологического состояния и определяется по уравнению:

$$\mu_2 = 74 - 5,6(t - 17,3),$$

где  $\mu_2$  – процент гибели;  $t$  – средняя температура периода дополнительного питания жуков в пределах от 14 до  $20,5^\circ\text{C}$ .

Низкая температура и высокие осадки отрицательно влияют на плодовитость самок колорадских жуков и наоборот, высокая температура и небольшие осадки положительно влияют на их плодовитость (С.М.Свидерская, 2009).

В местах разведения картофеля распространено такое заболевание как фитофтора. Особенно большой ущерб фитофтора причиняет в зонах с обильным выпадением осадков во вторую половину лета (С.М.Свидерская, 2007). Фитофтора поражает листья, стебли, клубни, иногда бутоны и ягоды картофеля. При благоприятных условиях (часто выпадающие осадки, умеренная температура) болезнь на поле распространяется очень быстро и в течение 7-10 дней может уничтожить всю ботву картофеля. Чем ближе к поверхности расположены клубни, тем быстрее и сильнее происходит заражение.

Температура среды является одним из основных факторов, определяющих возможность возникновения заболевания растений и степень его вредоносности. При температуре выше 15°C значительно снижается активность прорастания зооспор возбудителя фитофтороза картофеля, оптимальной для них является умеренная температура (10-15°C) в сочетании с повышенной влажностью воздуха. Кратковременное воздействие высоких температур (выше максимальных) конидии фитофторы могут переносить, не теряя жизнеспособности. При температурах -1°C и -2°C конидии фитофторы не прорастают, но и не утрачивают способности прорасти. Конидии фитофторы погибают при тех же отрицательных температурах, при которых отмирает ботва картофеля.

Влагообеспеченность среды в значительной мере определяет продолжительность сохранения жизнеспособности патогена. Конидии фитофторы картофеля при влажности воздуха порядка 20-40% теряют жизнеспособность через 1-2 часа, при влажности воздуха 50-80% - только через 3-5 часов. В сухом воздухе отмечается быстрая потеря способности к прорастанию конидий, а также их гибель после 84 часового действия температуры, превышающей 25°C. Конидии не прорастают после 6-часового пребывания зараженных листьев картофеля в сухом воздухе. При одной и той же температуре жизнеспособность конидий изменяется в зависимости от влажности воздуха. При температуре 20°C и относительной влажности воздуха 20-40% конидии теряют жизнеспособность через 1-3 часа, а при той же температуре, но при более повышенной относительной влажности воздуха, как 50-80%, жизнеспособность сохраняется 5-15 часов. После 7-ми часового пребывания во влажном воздухе (больше 90%) конидии фитофторы теряли способность прорасти.

Поэтому маловероятно сохранение жизнеспособности у конидии фитофторы рассеивающихся по воздуху в сухую и жаркую погоду (С.М.Свидерская, 2007).

При отсутствии заболевания площадь листьев картофеля значительно больше, чем при наличии заболевания. У растений, не пораженных фитофторой, площадь листьев картофеля достигает максимума в шестую декаду вегетации и составляет 3,3 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. При наличии заболевания, площадь листьев картофеля значительно ниже, максимум наблюдается в пятую декаду вегетации и составляет 1,6 м<sup>2</sup>/м<sup>2</sup>. Биомасса клубней при отсутствии

заболевания в условиях Западного Полесья почти в три раза больше, чем при наличии болезни.

### **Инвазия каштановой моли.**

Каштановая минирующая моль впервые была обнаружена в 1984 г. В Македонии в окрестностях оз.Охрид. Через 5 лет, в 1989 г. был обнаружен новый очаг каштановой минирующей моли на расстоянии 1000 км от оз.Охрид – в австрийском городке Линце. Существует предположение, что она была интродуцирована сюда энтомологами, с целью изучения, однако они не предприняли необходимых мер предосторожности во избежание проникновения животных за пределы опытных участков. И в Австрии образовался второй очаг, откуда в течение следующих нескольких лет произошло стремительное распространение каштановой моли по странам Южной и Центральной Европы (рис.2.10). Исходное местообитание каштановой моли откуда она попала в Македонию пока остается неизвестным. Есть предположение, что вид был завезен из Северной Америки, где обитают известные науке представители рода *Cfmeraria*, также минирующие листья североамериканских видов каштанов. По второй гипотезе речь идет об относящемся к этому виду роде восточноазиатского происхождения, трофически связанного с кленами и адаптировавшегося в условиях Европы к питанию листьями каштана. Однако поиски каштановой минирующей моли с помощью феромонных ловушек в Северной Америке, Японии, Пакистане и Китае не подтвердили эти гипотезы (М.Д.Зерова и др. 2007).

Распространение каштановой минирующей моли шло из Македонии и Австрии в радиальном направлении. В 1993 г. Вредитель проник в Венгрию, Словакию и Чехию, а в 1994 – в Германию. В 1998 г. Каштановая моль была обнаружена в Нидерландах и в Греции, а в 1999 г. – в Бельгии. В настоящее время этот вид встречается практически во всех странах Западной, Центральной и Восточной Европы, в том числе во Франции, Болгарии, Румынии, в 2002 г. он достиг Англии и Дании на северо-западе и Украины на востоке (рис.2.11). Считается, что каштановая моль впервые была зафиксирована в 1998 г. в Закарпатской области.

На 2011 год каштановая минирующая моль отмечена на территории следующих стран: Австрия, Албания, Бельгия, Болгария, Босния, Великобритания, Венгрия, Германия, Герцеговина, Греция, Дания, Испания, Италия, Косово, Латвия, Литва, Лихтенштейн, Люксембург, Македония, Молдавия, Нидерланды, Польша, Румыния, Сербия, Словакия, Словения, Турция, Украина, Франция, Чехия, Швейцария, Швеция, Хорватия и Эстония, а также в Европейской части России.

Среди способов распространения вредителя выделяют два основных: 1) антропогенный – завоз транспортом (автомобили, трейлеры, поезда и т.п.); и 2) распространение по воздуху (перелет бабочек на рядом стоящее дерево или перенос ветром). Антропогенный способ в настоящее время считается основным.

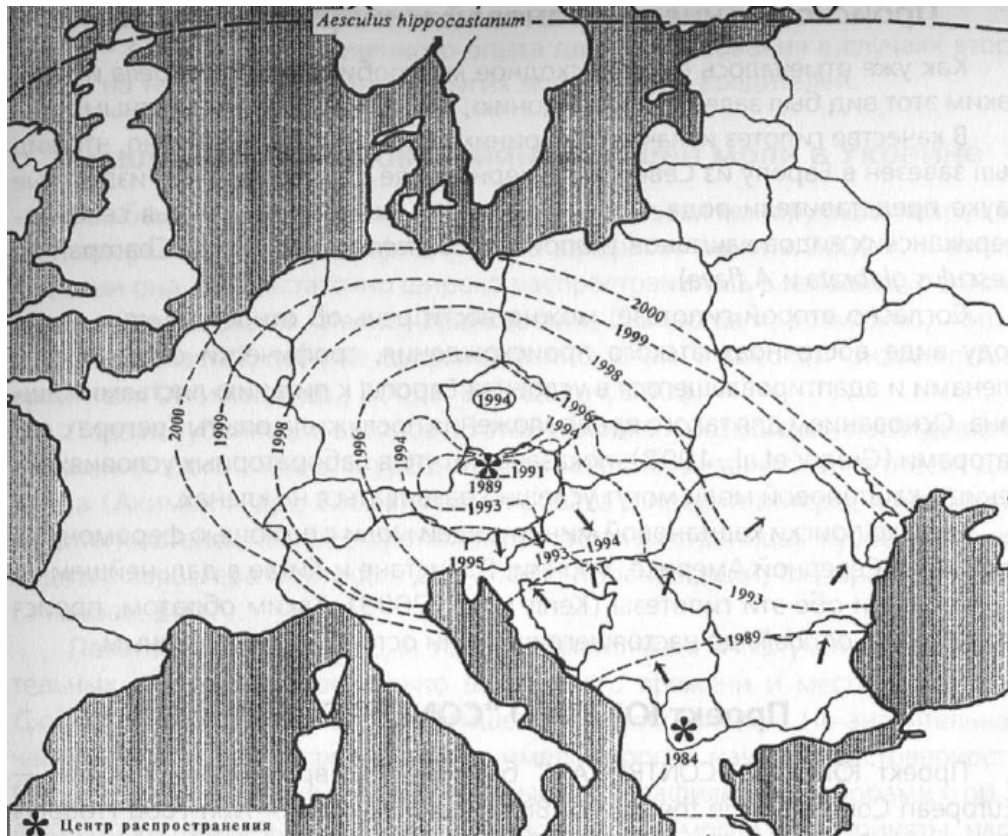


Рис. 2.10. Распространение каштановой минирующей моли в Европе (по Н.Сefrova, Z.Lastuvka, 2001)



Рис. 2.11. Распространение каштановой минирующей моли в Украине (по М.Д.Зеровой и др., 2007)

Скорость, с которой происходит расселение каштановой минирующей моли согласно Отчету конвенции по Биологическому разнообразию для Европы примерно 100 км за сезон. В Германии каштановой моли потребовалось 4 года на преодоление расстояния в 550 км в направлении с юга на север и 5 лет, чтобы преодолеть расстояние 300 км между западной Австрией и западной Швейцарией через Альпы. На Украине каштановая моль в течение 5 лет с 1998 г. по 2003 г. Преодолела расстояние в 570 км от Закарпатья до Умани в восточном направлении, и 380 км до г.Ровно в северо-восточном направлении. Первые очаги каштановой минирующей моли в Киеве были обнаружены в 2003 г. В районе метро «Выдубичи», в непосредственной близости от мест разгрузки/погрузки грузовых железнодорожных составов. Приписка части составов (Львовская железная дорога) указывает на проникновение моли из западных областей Украины (М.Д.Зерова и др. 2007). К концу 2006 г. вредитель заселил все насаждения конского каштана, произрастающие в черте города и на всю лесопарковую зону мегаполиса. На колонизацию каштанов в пределах городской черты Киева понадобилось около 5 лет. Требуется всего несколько лет, чтобы плотность популяций каштановой моли достигла критических размеров, что приводит к гибели зараженных деревьев.

Расширение ареала каштановой минирующей моли ожидают на весь ареал распространения конского каштана. По современным данным род *Aesculus* (каштанов) является реликтом третичной флоры. Со времени последнего оледенения виды этого рода сохранились лишь в некоторых районах Европы, Южной Америки, Китае и Индии. В каждой из этих областей произрастают эндемичные виды каштана. Естественный ареал конского каштана охватывает небольшую часть Балканского полуострова, где он произрастает в горных лесах Албании и частично Болгарии и Греции, где этот вид впервые был обнаружен только в 1879 г. В культуру конский каштан был введен в Малой Азии в 1575 г., позднее саженцы каштана были привезены из Турции в Европу (Вена). Имеются сведения, что он еще раньше был ввезен в Прагу (1561 г.) и в Италию (1569 г.). В течение следующих двух столетий конский каштан завоевал всю Европу и был завезен в Америку. В XVIII столетии его интродуцировали в южные районы России, в том числе и в Украину. В Киеве первые каштаны появились в 1841 г., а их массовые посадки, в первую очередь для укрепления склонов Днепра, начались с 1849 г. В настоящее время культурный ареал конского каштана охватывает Западную и Центральную Европу, а северная граница его ареала в Восточной Европе проходит по побережью Белого моря, начиная от Архангельска (65°с.ш.) и далее – Петрозаводск-Санкт-Петербург (60°)- Вятка (58°) – Уфа (56°). На юге эта граница проходит через Одессу и Симферополь (47°) и далее через Краснодарский край – Кавказ – Дагестан. Конский каштан по этой широте можно встретить также в Узбекистане, Туркмении, Таджикистане, Киргизии и Казахстане (М.Д.Зерова, Г.Н.Никитенко и др. 2007).

При проникновении инвазионного вида на новые территории важное значение имеет изучение особенностей его развития в новых условиях. В Европе, в зависимости от климатических условий конкретного региона



каштановая минирующая моль развивается в 3-5 поколениях, однако детальных исследований фенологии вида не проводилось. На Украине развитие каштановой моли происходит в 3-х полных и 4-м факультативном поколениях. Зимующей стадией у каштановой моли является куколка, пороговая температура для начала развития принята +10 °С. Начало массового лета приходится на период образования и начала роста плодов каштана при достижении суммы эффективных температур 150 °С. Сроки развития одной генерации вредителя в условиях г.Киева и киевской области составляет от 75 до 90 суток при средней сумме эффективных температур 986,5±166,2°С и их диапазоне от 512°С до 1392°С (М.Д.Зерова и др. 2007).

Мало известно о том, какие естественные враги преимагинальных стадий, то есть стадий до состояния взрослой особи, каштановой минирующей моли встречаются в Европе. Но известно, что свыше 20 видов птиц питаются личинками и куколками, редко имаго. Среди них — лазоревка, большак, черноголовая гаичка. Естественные враги каштановой минирующей моли встречаются и среди насекомых, из них прямокрылые — *Phaneroptera paleata* и *Mecanema meridionale*, которые питаются каштановой минирующей молью преимагинальных стадий. Также в списке хищников отмечены представители сетчатокрылых, длинноусых прямокрылых, кожистокрылых, полужесткокрылых, муравьев, настоящих ос и божьих коровок, а также пауки. Отмечено около 60 видов паразитоидов — организмов, личинки которых проживают на или внутри единственного хозяина, в нашем случае каштановой минирующей моли. К ним относятся перепончатокрылые различных семейств. Наибольшее количество врагов каштановой моли распространено на Балканах.

**Расширение ареала западного кукурузного жука (*Diabrotica virgifera virgifera* Le Conte)** в Европе. Впервые описан как вид в 1868 La Conte в Северной Америке. В Европе до 1992 года был неизвестен. Вредителями являются как жуки, так и личинки. Жуки повреждают волос, столбики женских соцветий, листья, иногда обгрызают молочные кочаны. Личинки питаются корнями кукурузы. Западный кукурузный жук является монофагом: личинки питаются исключительно корнями кукурузы, при их отсутствии некоторое время способны питаться корнями некоторых злаковых трав, на которых не способны полноценно развиваться. Жуки питаются пыльцой, маточниковыми столбиками, незрелыми зернами, листьями кукурузы, кроме этого способны питаться пыльцой других растений с рода тыквенных, бобовых, злаковых, сложноцветных (Н.А.Константинова и др., 2004). Западный кукурузный жук развивается только в одном поколении за год. Жуки выходят из почвы в конце июля, начале августа. Распространяется преимущественно самостоятельными перелетами и перевозом транспортом (О.М.Мовчан и др., 2006). Дальность перелета против ветра 1200 м (Н.А.Константинова и др., 2004). В среднем жук способен к активным дальним перелетам в среднем 80 км/год (О.М.Мовчан и др., 2006). За вегетационный период может самостоятельно преодолевать расстояния 40-100 км (Н.И.Андреянова, О.А.Сікура, 2010). Менее 10 лет понадобилось жуку для преодоления расстояния в 600 км от очага завоза до границ Украины.

В Европе западный кукурузный жук впервые выявлен в Сербии (возле Белграда) в 1992 г. (завезен авиатранспортом), потом распространился на другие страны Европы. В табл.2.42 Приведена хронология распространения жука по Европе. На рис.2.12 показан ареал распространения жука на 2011 г. Вспышки очагов жука в Западной Европе в основном имеют Центральноевропейское происхождение. Однако очаги возле Парижа (2002) и Венеции являются результатом интродукции из Северной Америки. Очаг, выявленный возле Парижа в 2004 г. также, вероятно, происходит из Северной Америки (В.О.Паламаренко, Л.Б.Боцко, 2006). В Нидерландах в 2003 г. было выловлено несколько видов *Diabrotica virgifera*.

Расселение жука по территории Украины проходило в посевах кукурузы повторного выращивания долинами рек Тисы, Ужа, Иршавы, Латорицы, по которым проходят магистрали международного значения (автодороги и железные дороги). Далее расселение проходило по долинам рек Тересвы, Рики, Боржавы, по которым проходят сообщения местного значения с меньшим пассажиропотоком и грузопотоком (В.П.Омелюта и др., 2004).

Наличие благоприятных климатических условий и кормовой базы способствуют успешному распространению насекомого по территории континента. Попав на новые территории, жук заселяет и акклиматизируется на них в течение нескольких лет. В этот период говорят о приобретении видом статуса пульсирующего, поскольку невозможно установить его фенологию и выявить динамику развития (О.М.Мовчан и др., 2006).

Температурный оптимум развития западного кукурузного жука изменяется в пределах 21-30 °С, нижний порог развития имаго около +9 °С. При средней температуре почвы +11,2°С - +12,8 °С весной выходят личинки и начинают питаться (Н.А.Константинова и др., 2004). Для выхода личинок из яиц необходима сумма температур 300-400 °С. Период от выхода личинок из яиц до имаго проходит от 27, 38 до 71 дня в зависимости от температуры соответственно при 29°С, 22 °С и 15 °С. В поисках корма личинки способны преодолевать расстояния в 50 см. в почве.

Самая высокая вредоносность кукурузного жука отмечается в районах его первичного ареала, то есть на американском континенте. В США годовые потери урожая, причиняемые вредителем, вместе с затратами на борьбу с ним достигают 1 миллиарда долларов.

В Европе из-за относительно короткого времени присутствия и меньшей численности кукурузного жука потери урожая не так значительны, как в США. В странах Европы проявления экономического вреда отмечались на 3-4 год (В.П.Омелюта и др., 2004), а экономически ощутимые повреждения посевов кукурузы наблюдали приблизительно через 5-6 лет после первого обнаружения жука (О.М.Мовчан и др., 2006). Самые высокие потери урожая отмечаются в Сербии, Черногории, Хорватии, Боснии и Герцеговине, Венгрии, Румынии. Местами они составляют около 40%, а в некоторые годы, когда условия для кукурузного жука наиболее благоприятны, достигают 90%. Высокие потери отмечены на юге Венгрии в 2003 году (<http://zerno-ua.com/?p=2747>).

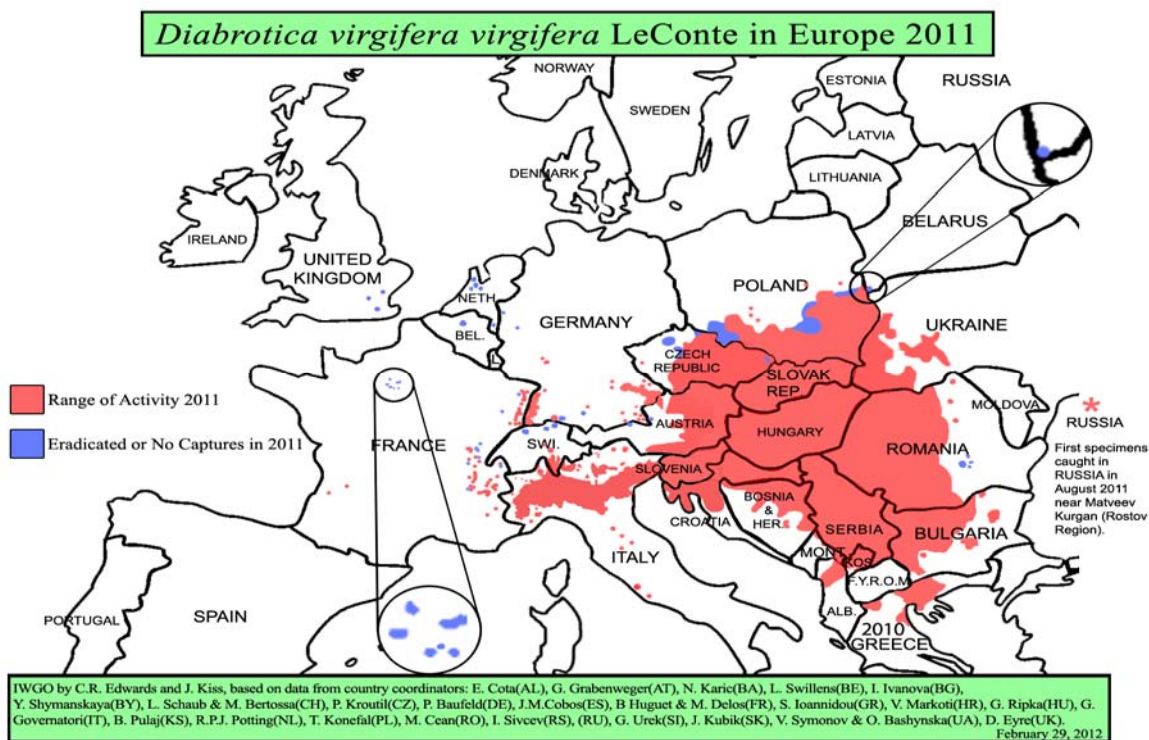
**Таблица 2.42.** Хронология обнаружения и распространения западного кукурузного жука (В.П.Омелюта, Н.К.Филатова, 2008, [http://www.eppo.int/QUARANTINE/special\\_topics/Diabrotica\\_virgifera/diabrotica\\_virgifera.htm](http://www.eppo.int/QUARANTINE/special_topics/Diabrotica_virgifera/diabrotica_virgifera.htm))

Год	США
1868	Описание вида La Conte
1909	Проявление вредоносности на кукурузе
1955-1980	Расширение ареала
1975-по настоящее время	Значительная вредоносность на посевах кукурузы. Экономические потери 1 млрд.долл./год
Европа	
1992	Югославия
1995	Венгрия
1996	Румыния, Хорватия
1997	Босния и Герцеговина
1998	Болгария, Италия
2000	Словакия
2001	Украина (Закарпатье), Швейцария
2002	Австрия, Чехия, Франция
2003	Великобритания, Нидерланды, Бельгия, Словакия
2005	Польша, Украина (Львовская область – 2 района)
2006	Проявление вредоносности в Закарпатье и дальнейшее распространение, как в Европе, так и на Украине (Закарпатье – все районы, Львовская обл. – 11 районов)
2007	Украина. Ивано-Франковская обл.
2007	Германия
2009	Беларусия, Греция
2010	Украина. Тернопольская обл. (5 районов)
2011	Россия, Ростовская область

Максимальная скорость распространения фитофага наблюдается при выращивании кукурузы в монокультуре (Н.И.Андреянова, О.А.Сікура, 2010). Возможная скорость распространения жука при разной степени насыщения севооборотов кукурузой показана в табл.2.43.

Применение двупольной системы севооборотов на скорость распространения жука влияния не оказывает, а вот трехпольные севообороты снижают скорость распространения на 30%, четырехпольные – на 50% (Н.И.Андреянова, О.А.Сікура, 2010).

В США, где кукурузный жук является серьезной угрозой урожаям кукурузы, с помощью генетической инженерии созданы сорта кукурузы, устойчивые к вредителю. Они содержат ген бактерии *Bacillus thuringiensis* spp. *Tenebrionis*, способствующий выработке белка, токсичного для кукурузного жука в течение всего периода вегетации растений кукурузы. В настоящее



**Рис. 2.12. Распространение западного кукурузного жука в Европе на 2011 г.** ([http://www.eppo.int/QUARANTINE/special\\_topics/Diabrotica\\_virgifera/diabrotica\\_virgifera.htm](http://www.eppo.int/QUARANTINE/special_topics/Diabrotica_virgifera/diabrotica_virgifera.htm))

**Таблица 2.43.** Возможная скорость распространения западного кукурузного жука в зависимости от концентрации кукурузы в севообороте (Н.И.Андреянова, О.А.Сікура, 2010)

Севооборот	Скорость распространения, км/год	
	Минимальная	Максимальная
Двупольная	20	80
Трехпольная	14	56
Четырехпольная	10	40

время в Польше и остальных странах Евросоюза такие сорта не выращиваются (<http://zerno-ua.com/?p=2747>).

Группа ученых во главе с Сергио Расманном из университета г. Невшатель (Швейцария) обнаружила (S.Rasmann, T.G.Kollner, 2005), что при повреждении фитофагами, в том числе и при повреждении корней, растения могут выделять особые вещества, привлекающие нематод. Этим исследователям удалось показать, что если обитающие в почве личинки западного кукурузного жука (*Diabrotica virgifera*) начинают поедать корни кукурузы, то в почву выделяются специфические вещества (прежде всего Е-бета-кариофилен), привлекающие личинок нематод (круглых червей) *Heterorhabditis megidis*. Личинки этих нематод на определенной стадии своего развития не питаются, а заняты поисками будущего хозяина. Обнаружив такового (в данном случае личинку жука *Diabrotica*), они проникают внутрь ее тела через естественные отверстия (рот, анус, дыхальца), и приносят туда

симбиотических (для нематод) бактерий, которых содержат в специальной капсуле. Бактерии быстро размножаются внутри личинки, вызывая ее гибель. При этом содержимое личинки превращается в жидкую кашу, наполненную бактериями. Питаясь этими бактериями внутри погибшей личинки жука, нематоды успешно завершают цикл своего развития. В лабораторных опытах Расманн и его коллеги обнаружили, что выделение корнями кукурузы кариофилина происходит только при повреждении их личинками жука. Выяснилось также, что особенность эта не универсальна: она присуща старым европейским сортам кукурузы и одному из ближайших диких родственников кукурузы - *Zea mays parviglumis*. А вот новые американские сорта кукурузы, все больше культивируемые сейчас в Европе, не вырабатывают кариофилин в ответ на нападение жуков, и соответственно, сильно ими повреждаются.

По своей вредности западному кукурузному жуку не уступает северный кукурузный жук *Diabrotica barberi* Smith & Lawtence, который широко распространен в США и отсутствует на территории Европы. Северный кукурузный жук включен в список А1 карантинных вредных организмов ЕОКЗР и в проект Единого Перечня карантинных вредных организмов стран Таможенного союза (С.Зиновьева, 2012).

На локальном уровне и в частности для агроландшафта, условия для обитания энтомофауны, формирование энтомокомплекса, в первую очередь, определяется составом культур севооборота (О.Г.Чамурлиев и др., 1999). Растения, являясь средообразующим фактором, представляют первое звено в возникающих трофических цепях «растение – фитофаг – энтомофаг». Пищевой фактор служит основой формирования видового состава практически всех основных групп энтомокомплексов. Особенно это касается насекомых, питающихся избирательно.

Самая неблагоприятная энтомологическая ситуация складывается на полях севооборота с наличием только пропашных культур. Здесь среднесезонное обилие видов, повреждающих сельскохозяйственные культуры, и, соответственно, их вредность в 1,3 раза выше.

Основное требование к оптимизации агроландшафтов относительно миграции насекомых состоит в создании биологического разнообразия, как растительного покрова, так и организмов.

На основе анализа взаимодействий популяций выдвинут принцип стабильности подвижных экологических систем (А.Д.Базыкин и др., 1995):

1. Биогеноз как саморегулирующаяся биологическая система по любому из своих параметров обладает областью устойчивости, в которой система не претерпевает существенных изменений.

2. Каждой популяции насекомых свойственен уровень стабильной плотности, детерминированный обратной связью и соответствующим образом включенный в общий механизм устойчивости экосистемы.

3. Для каждого фиксированного множества параметров между фазовыми переменными системы имеются зависимости, соответствующие пороговым кривым, переход через которые определяет качественные изменения в динамике популяций.

4. Характерное время экосистемы, как правило, существенно больше продолжительности поколений насекомых. Поэтому выход популяции на стабильные динамические режимы реализуется значительно быстрее, чем эволюция всей экосистемы.

Моделирование динамики взаимодействующих популяций кроме всего прочего проводится с целью выявления возможности вспышек массовых размножений насекомых. В частности, с их помощью объяснены различные варианты «эффекта бумеранга» - парадоксальной реакции популяции фитофага на регулирующие воздействия, приводящие в определенных условиях к массовому размножению.

Прохождение популяцией характерных точек фазовой плотности обусловлено ослаблением или усилением воздействия регуляторных механизмов. Необходимым условием функционирования всех саморегулирующих систем является наличие отрицательной обратной связи. Эффективность регуляции и ее качественные особенности определяются инерционностью регуляторных механизмов, т.е. величиной запаздывания на изменение плотности популяции. Поэтому факторы регуляции численности целесообразно разделить на инерционные – обладающие запаздыванием, и безинерционные, запаздывание которых мало или отсутствует совсем. К первым относятся преимущественно регуляторные механизмы (естественные враги, болезни, реакция кормового растения), а ко вторым – большинство внутривидовых механизмов регуляции (конкуренция, интерференция, каннибализм, миграция и др.).

Существует, по крайней мере, четыре типа вспышек массовых размножений фитофагов (А.С.Исаев и др., 1981):

1) фиксированные вспышки, когда в фазовом пространстве имеются два устойчивых стационарных состояния, приводит к стабилизации численности на новом уровне;

2) перманентные вспышки, когда все три стационарных состояния неустойчивы и имеется один предельный устойчивый цикл;

3) антивспышки «ускользание» из-под контроля энтомофагов через уменьшение численности фитофагов;

4) вспышки, когда имеется только одно устойчивое состояние равновесия, два неустойчивых и нет циклов – это режим вспышек массовых размножений, наблюдается, например, у лесных чешуекрылых.

В настоящее время разработан ряд компьютерных реализаций моделей направленных на решение теоретических и прикладных задач связанных с моделированием систем интегрированной защиты растений. В том числе:

1) информационно-советующие модели, основная задача которых – помочь в организации комплексной защиты растений в агроценозах сельскохозяйственных культур;

2) функциональные динамические имитационные модели, описывающие функционирование и взаимодействие популяции и субпопуляции в виде целостных единиц. Такие модели позволяют прогнозировать развитие отдельных популяций вредных организмов в течение вегетационного сезона с

учетом погодных условий и эффективности естественной регуляции агроценозов;

3) Математические модели типа «ценокон» - модели на уровне индивидуумов, когда популяции описываются как совокупность автономно существующих организмов.

Информационно-советующие системы предназначены для того, чтобы помочь пользователю реализовать оптимальную модель защиты растений от комплекса вредных организмов – квалифицированно и в нужное время провести оценку складывающейся фитосанитарной ситуации, принять оптимальные решения по проведению защитных мероприятий.

Система состоит из 8 основных и одного дополнительного этапов. Каждый этап включает в себя оценку фитосанитарной ситуации, принятие решений по проведению защитных мероприятий и выполнение этих решений. Система помогает квалифицированно провести фитосанитарные учеты и на основании их результатов дает рекомендации относительно того, какие действия в складывающейся ситуации будут оптимальными для обеспечения защиты растения. К примеру, для защиты озимой пшеницы должны быть реализованы следующие этапы (Подходы к конструированию ..., 2000):

I этап системы защиты озимой пшеницы должен быть реализован перед посевом культуры. Если пшеница будет высеваться не по пару, то оценку фитосанитарной ситуации нужно провести еще до уборки предшественника. Главным объектом контроля на этом этапе являются сорняки, может потребоваться также оценка численности проволочников и развития фузариоза (на зерновых предшественниках).

II этап должен быть реализован осенью на фазе кущения пшеницы. Объектами контроля являются болезни пшеницы, злаковые мухи и, возможно, хлебная жужелица.

III этап реализуется в первые дни после весеннего возобновления вегетации пшеницы. В этот период контролируется развитие снежной плесени.

IV этап нужно реализовывать через две недели после весеннего возобновления вегетации пшеницы. В этом случае контролируется развитие сорняков.

V этап приурочен к началу фазу выхода пшеницы в трубку. Объектами контроля являются болезни, возможно – пьявица. Может потребоваться информация о погоде и ожидаемом урожае.

VI этап должен быть реализован на фазе сформировавшегося флаг-листа. Контролируется развитие болезней, может понадобиться информация о погоде и ожидаемом урожае.

VII этап привязан к фазе цветения пшеницы. Контролируется развитие болезней, злаковых тлей и, возможно, вредной черепашки. Может понадобиться информация о погоде и ожидаемом урожае.

VIII этап реализуется в фазу молочно-восковой спелости. Оценивается развитие болезней, поражающих колос пшеницы, для определения особенностей уборки, обработки и использования зерна.



IX этап, дополнительный этап – повторение работ восьмого этапа на фазе полной спелости пшеницы.

В соответствии с вышеуказанным, первый сеанс консультаций в рамках системы пользователь должен провести перед уборкой предшественника (если таковой не пар) или перед посевом пшеницы по пару.

### 3.3.3. Способы регулирования фауны полезных насекомых

Оптимизация использования сельскохозяйственных ландшафтов возможна за счет сохранения экологического разнообразия путем объединения природных и культурных биоценозов, которые вписаны в пространственную структуру природных комплексов, улучшения пространственно-технологических свойств обрабатываемой пашни с целью эффективного применения современных сельскохозяйственных машин и оборудования.

Выращивание сельскохозяйственных растений в монокультуре и не сбалансированное применение удобрений привело к возникновению проблемы с повышенной поражаемостью посевов болезнями и их засоренностью.

Значительный избыток подвижного азота в почве вызывает у микроорганизмов большую потребность в углероде и многие ризосферные микроорганизмы начинают разлагать не только гумус, но и живые корни растений, что способствует развитию корневых гнилей.

Наличие в посевах культурных растений сорняков также способствует поражению культурных растений различными болезнями. Некоторые растения являются резервантами болезней, которые передаются культурным растениям (табл.2.44). Порядок чередования культур в севооборотах также влияет на накопление, или уменьшение численности возбудителей болезней или вредителей (табл.2.45). В табл.2.46 - 2.48 показаны причины несовместимости некоторых культур в севообороте (аллелопатия, общие вредители, высушивание почвы и т.п.).

**Таблица 2.44.** Специализация болезней растений – резерватов в фитоценозах лесоаграрного ландшафта (Крюкова Е.А., Персидская Л.Т., 1986)

Растения-резерваты	Болезнь	Культурные растения, которые повреждаются или промежуточные хозяева
Пырей ползучий	мучнистая роса	яровая и озимая пшеница, рожь, ячмень
Костер безостый, мятлик обыкновенный	фузариоз	яровая и озимая пшеница, озимая рожь, ячмень, бахчевые
Чина луговая	ржавчина	горох, сосна
Гречишка вьюнковая, спорыш	мучнистая роса	гречка, горчица
Овсяница луговая, пырей ползучий	ржавчина	яровая и озимая пшеница
Василек песчаный	то же	сосна обыкновенная
Подорожник большой	то же	конопля
Камыш обыкновенный	то же	щавель обыкновенный



**Таблица 2.45.** Влияние предшественников на фитосанитарное состояние почвы в севооборотах Западной Лесостепи и Полесья (Л.Д.Фоменко, 1987)

Культура в севообороте	Предшественники, ограничивающие накопление возбудителей болезней и вредителей	Вредители, возбудители болезней действие которых ограничивается	Предшественники, способствующие накоплению возбудителей болезней и вредителей
Озимые зерновые	многолетние травы, горох, люпин на сидерат, кукуруза на зеленый корм и силос, вико-овсяная смесь, лён, редька масляная, ранний картофель	корневые гнили, ржавчина, сажка, мучнистая роса, злаковые мухи, жужелица	озимые и яровые зерновые (кроме овса), многолетние травы 2 года, кукуруза на зерно
Яровые зерновые	Сахарная свекла, картофель, вико-овсяная смесь	корневые гнили, сажка, ржавчина, мучнистая роса, злаковые мухи	яровые зерновые культуры (кроме овса)
Кукуруза	сахарная свекла	летучая сажка, гельментоспаризоз, корневые гнили, проволочники, стеблевые бабочки	
Горох	кукуруза, сахарная свекла, картофель, озимые зерновые, озимый рапс	корневые гнили, аскохитоз, мучнистая роса, серая гниль, антракноз, клубеньковые долгоносики, гороховая тля	горох
Сахарная свекла	озимые зерновые после многолетних трав, горохо- вико-овсяная смесь	корневые гнили, парша, пятнистость листьев, мучнистая роса, нематода, свекольный долгоносик, свекольная крошка, корневая стеблевая тля, минирующая муха	Картофель, сахарная свекла, многолетние травы, кукуруза на зерно
Картофель	озимые и яровые зерновые, зернобо-бовые, кукуруза на силос, люпин на зерно или сидерат	колорадский жук, изотмониоз, парша, фитофториоз, фузариозная гниль	картофель, пасленовые, капуста, морковь, лук
Лён	озимые и яровые зерновые после многолетних трав или удобренных органическими удобрениями пропашных	фузариоз, антракноз, льняной трипс, долгоножка, люцерновая совка	лён, многолетние травы

**Таблица 2.46.** Причины несовместимости культур в севообороте (С.М.Серединский, I.C.Брошак, 2007)

Культура	Санитарный разрыв в севообороте, годы	Основные причины
Ячмень	4	нематоды зерновых
Овес	4	стеблевая нематода овса
Рапс	4-6	кила капусты, земляные блохи, корневой капустный скрытнохоботник
Сахарная свекла	до 6	свекольные нематоды, высушивание почвы
Клевер и люцерна	5-6	рак клевера, клеверная нематода, виды заразики
Люпин	7-8	Фузариозы
Горох	4-6	Фузариозы
Пшеница	-	нематоды зерновых, фузариозы
Картофель	-	картофельные нематоды, рак картофеля, мучнистая парша
Все культуры	-	специфические сорняки

**Таблица 2.47.** Действие фитонцидов различных растений на болезнетворные бактерии (О.А.Калініченко, 2003)

Вид растения	Продолжительность экспозиции, обеспечивающей гибель бактерий, мин	Вид растения	Продолжительность экспозиции, обеспечивающей гибель бактерий, мин
Береза повисшая	22	Лавр благородный	15
Горох валашский	18	Смородина Чорная	10
Граб обыкновенный	7	Тис ягодный	6
Дуб пушистый	6	Гополь серебристый	25
Кедр атласский	3	Черемуха обыкновенная	5
Клен остролистный	12	Чубушник обыкновенный	5
Клен татарский	20	Можжевельник казацкий	10

**Таблица 2.48.** Вредители и болезни ячменя по фазам развития растения (по В.Ф.Сайко и др., 1989)

Фаза развития	Этап органогенеза	Вредитель, болезнь	Экономический порог вредоносности
До посева		болезни семян, ростков, востоков (возбудители корневой гнили, головни), почвенные вредители	с учетом семенной инфекции
Восходы	I	Шведская и другие злаковые мухи	30-50 мух на 100 взмахов сачком
		хлебная полосатая блоха и стеблевые блохи	300 особей на 100 взмахов сачком
Кущение	II	хлебный пильщик, вредная черепашка	4 имаго на 1 м <sup>2</sup>
	III	хлебная пьявица	10-15 жуков на 1 м <sup>2</sup>
Выход в трубку	IV, V, VI, VII	мучнистая роса, ржавчина, корневые гнили	При выявлении первых признаков или прогнозе развития болезни
		хлебная пьявица	0,5-1 яйцо или личинка на растение
Колошение	VIII	мучнистая роса, ржавчина, болезни колоса	при угрозе развития на верхнем ярусе листьев и колосе
Рост, налив зерна, созревание	X, XI	вредная черепашка (личинки),	2 особи 4-5-го возраста на 1 м <sup>2</sup> в фазе молочной зрелости,
		тли	15-20 на колос
		трипсы,	40-50 на колос
		хлебные мухи	3-5 на 1 м <sup>2</sup>

При наличии ягодников, в частности черной смородины, следует учитывать тот факт, что зараженность личинок вредителей энтомофагами достигает 78-79%, а лёт энтомофагов начинается раньше, чем лёт смородинной златки и смородинной стеклянницы, поэтому после обрезки пораженных веток их надо складировать на кучи и дать возможность вылететь из них энтомофагам. Сжигать обрезки следует не позднее чем через 4-5 дней после окончания цветения черной смородины. При сжигании уничтожается до 70 % вредителей (Л.Н.Рыбалов, 1977). Распределение насекомых – интродуцентов по функционально-биоценотическим группам (природные, полуприродные, антропогенные) очень неравномерно (табл.2.49). Причем в антропогенных экосистемах численность отдельных видов превышает те же показатели в природных и полуприродных.

Биоценозы в агроландшафтах носят роль демпфера, то есть гасят энергию колебаний численности вредных видов, являясь резерватами, прежде всего, полезной фауны и стабилизируют производственно-экологическую нестабильность агросистем.

В лесоаграрном ландшафте общая численность фитофагов в 1,4-3 раза меньше, чем в открытых посевах, повреждение зерна вредителями тут также в 1,5-2,8 раза меньше, чем в открытых посевах. В порядке снижения обилия

развития микроорганизмов на первом месте стоят луга, опушки, зоны сельскохозяйственных полей, поля зерновых, многолетние травы и гречиха. Максимальное развитие микрофлоры наблюдается в зонах смыкания лесного полога с полем, лес – луг, где сосредоточены растения-резерваты инфекций (горец, костер, пырей ползучий и т.п.).

Внесение удобрений снижает численность фитофагов в 3-4 раза.

Температурные пороги развития у различных вредителей не совпадают (табл.2.50-2.53), они варьируют от +4 до +10 °С. Различаются и суммы активных температур развития вредителей. Установлено, что при достижении среднесуточной температуры +6°С пробуждается и выходит из зимовки яблонный цветоед. Если среднесуточная температура воздуха переходит через +8°С, на деревьях появляются трубкаверты, активизируется жизнедеятельность гусениц боярышницы, златогузки, жуков цветоедов, личинок щитовок. При установлении среднесуточной температуры +10°С появляется почковый долгоносик, а если она переходит через +13°С, начинается интенсивный лет и яйцекладки плодовых пильщиков (П.В.Вильвач, 1989). Достижение суммы эффективных температур 500 °С (при пороге 10°С) начинается развитие второго поколения плодовой гусеницы. Уход из плодов гусениц второго поколения отмечается при сумме эффективных температур 1000°С (при пороге 10°С).

**Таблица 2.49.** Распределение насекомых – интродуцентов по функционально-биоценотическим группам и категориям экосистем (В.Ю.Масляков, 1999) (I – природная экосистема; II – полуприродная экосистема; III – антропогенный экологический комплекс)

Функционально биоценотическая группа	I	II	III	Всего
Филлофаги	61	182	216	459
Паразитоиды	3	20	71	94
Ксиллофаги	4	54	12	70
Зоофаги	6	41	18	65
Карнофаги	1	23	30	54
Антрофиллы	0	8	8	16
Копрофаги	2	8	2	12
Ризофаги	1	6	2	9
Фитодетритофаги	0	2	4	6
Мицетофаги	0	0	1	1
Вредители запасов	0	2	31	33
Всего	78	346	395	819

Для развития карантинных на Украине видов зерновок (четырёхпятнистой и китайской) и не карантинной фасолевой необходима оптимальная температура воздуха 24-28 °С и влажность 70-90% (табл.2.50). Это говорит о риске возможного распространения этих вредителей в западных и южных областях. Фасолевая зерновка в 1957 году лишь кое-где наблюдалась в Крыму, теперь она широко распространена по Украине. Четырёхпятнистая зерновка завезена из тропических стран Азии, благодаря отсутствию врагов и

**Таблица 2.50.** Температурные показатели, необходимые для развития отдельных фаз зерновок рода *Bruchidae* (по Н.И.Андреяновой, 2006)

Виды зерновок	Фазы развития	Минимальная температура, °С	Максимальная температура, °С	Минимальная продолжительность развития, дней	Максимальная продолжительность развития, дней	Сумма эффективных температур, °С
Фасолевая зерновка	яйца	17,0	25,2	4	12	85,0
	личинки	19,5	29,0	8	35	154,0
	куколки	16,0	28,0	5	29	77,5
	полный цикл	17,0	29,0	34	60	248,0
Китайская зерновка	яйца	18,0	29,0	6	18	87,0
	личинки	17,5	29,0	9	17	165,0
	куколки	16,0	28,0	6	24	96,0
	полный цикл	18,0	29,0	18	120	358,0
Четырехпятнистая зерновка	яйца	22,0	29,0	4	12	92,5
	личинки	16,8	30,0	11	60	175,0
	куколки	16,8	28,0	4	25	118,5
	полный цикл	21,5	30,0	27	180	432,5

**Таблица 2.51.** Температурные критерии фенологии вредителей плодовых культур (по В.П.Васильеву, И.З.Лившицу, 1984)

Вредитель	Сигнализируемый этап развития	Сумма эффективных температур, °С	Порог температуры развития, °С	Среда
Яблонный пильщик	начало лета	180	4	почва, 10 см
Вишневая муха	начало лета	190	5	почва, 5 см
Яблонная плодожорка	начало лета, выход гусениц из яиц	110 230	10 10	воздух то же
Сливовая плодожорка	то же	205	10	то же
Грушевая плодожорка	то же	400	10	то же
Американская белая бабочка	то же	130	9	то же
		275	9	то же
Розанная листовертка	то же	50	8	то же
Зимняя пяденица	то же	80	6	то же
Древесница въедливая	то же	485	10	то же

**Таблица 2.52.** Температурные показатели развития некоторых возбудителей болезни (по З.А.Мищенко, 2009)

Возбудитель болезни	Стадия развития возбудителя болезни	Температура, °С		
		нижний предел	оптимум	Верхний предел
Линейная ржавчина пшеницы	прорастание спор	2	21-23 15-24	26-31 30-31
	Заражение растений	10	23-25	30
	развитие в тканях растения	2	20	-
Бурая ржавчина пшеницы	прорастание спор	2	20	32
	развитие в тканях растения	2	25	35
Желтая ржавчина пшеницы	прорастание спор	1	9-13	23
	заражение растений	5	15-20	26
	развитие в тканях растения	3	12-15	20
Гельминто-спорионая корневая гниль пшеницы	прорастание спор	6	22-28	36
	развитие в тканях растения	8-9	18-25	-
	спороношение	5	22-26	35
Офиоболезная прикорневая гниль пшеницы	развитие в тканях растения	5-8	8-28	>30
Пыльная головня пшеницы	прорастание спор	4-5	22-30	-
	развитие спор	5	16-18	25-30
Фузариоз колоса пшеницы	развитие спор	7-10	25-30	37-38
	Спороношение	<10	24-26	до 40
Милдью винограда	прорастание спор	-	10-15	-
	развитие в тканях растения	8	25	33
Мучнистая роса винограда	прорастание спор	5	10-30	33
Фитофтороз картофеля	прорастание спор	6-8	10-15	20
	образование ростковых трубочек	4	25	30

благоприятным экологическим условиям она теперь довольно распространена в Европе. Из стран восточной и тропической Азии, Африки, Австралии, Центральной и Южной Америки распространилась китайская зерновка.

Динамику популяций доминирующих фитофагов яблони в значительной мере определяют погодные условия года (О.Б.Баликина, 2012). По данным многолетних (36 лет) наблюдений были рассчитаны модели их численности и вредоносности в условиях Крыма. Так, суммарный отлов бабочек яблоневой плодовой гнили на феррамоновые ловушки (У, экз.) зависит от гидротермического коэффициента (ГТК) следующим образом:

$$У = 60,7ГТК - 7,003, \quad r = 0,76,$$

При этом оптимальные условия температуры и увлажнения для жизнедеятельности вредителя обеспечивается при показателе ГТК 0,8-1,0.

**Таблица 2.53.** Влияние климатических факторов на развитие болезней и вредителей (из литературных источников)

Болезнь, фитофаг	Растение, что поражается	Благоприятная температура воздуха, °С	Благоприятная влажность воздуха %	Влажность почвы	Сумма активных температур воздуха	Характер погоды
Пероноспороз	подсолнечник	15	высокая	высокая		
Ненастоящая мучнистая роса	хмель	17-20	>80%			
Парша	яблоня, груша	19-25				Умеренно теплая погода и наличие капельно-жидкой влаги
Монилиальный ожог, кластероспориоз, кучерявость листьев	Косточковые	от 4-5 до 10-11	высокая			Прохладная дождевая
Мильдю, серая гниль,	виноград	10-30, опт.=20-25	>92%			Теплая влажная
Оидиум	виноград	25	>8-10%			Жаркая, сырая
Серая гниль гороха	горох	14-18	высокая			пониженная температура воздуха, наличие осадков, рост относительной влажности воздуха
Сухая пятнистость томатов	паслёновые	24-28	70-100%			Сухое жаркое лето, обильные росы и периодические осадки
Сливовая плодожорка	сад	24-26-опт; 12-13 мин			105-120массовый лет 190-200гусениц	
Яблоневая плодожорка	сад	20 – опт; 15 - мин			100-130	
Итальянский прус, нестадные кобылки	большинство растений	15-18 на протяжении 2 недель, опт=22-26			появ.личинки 220-400	при теплой сухой погоде
Луговой мотылек	Многол.травы, сахарная свекла, овощи, пропашные	22-25, мин.=10-12, опт.=25	>60-70%		400	осадки, росы цветущие растения
Озимая совка	Сахарная свекла, зерновые, картофель, овощи и др.	Гусеницы 1 поколения 16-30; 2-5 поколения 18-25; Куколки 21-28	Соответственно 75-100%; 70-95%; 75-85%			

Наблюдается также связь численности яблоневого плодожорки с 11-летним циклом солнечной активности. За период с 1976 по 2011 гг., резкое увеличение плотности популяции составляла в 1979, 1990 и 2001 гг. (О.Б.Баликіна, 2012).

Зеленая яблоневая тля интенсивно размножается в первую половину вегетационного периода (апрель-июнь), чему благоприятствует влажная погода ( $ГТК > 1,0$ ). Количество колоний на дерево (шт.) можно определить:

$$y = 14,47ГТК_{4-6} + 13,12, \quad r=0,55.$$

На численность тли в яблоневых садах также влияет форма кроны дерева, в садах с плоскопирамидальной кроной численность вредителя выше, особенно при капельном орошении (О.Б.Баликіна, 2012).

Численность туркестанского и боярышничкового фитофагов-клещей в яблоневых садах в жаркие и засушливые годы с  $ГТК$  ниже 1 резко увеличивается. Так, численность туркестанского клеща ( $y$ , клещей/листок) можно определить:

$$y = -4,037ГТК_{7-8} + 11,8.$$

Численность боярышничкового клеща ( $y$ , клещей/листок) от суммы эффективных температур в летний период (июнь-август) ( $x$ , °С) (О.Б.Баликіна, 2012):

$$y = 1,063x + 2,75.$$

Периодичность резкого роста численности серого почкового долгоносика обусловлена двухлетней диапаузой части популяции. С гидротермическими условиями вегетационного периода смены динамики численности данного вида не выявлено, что объясняется ранним выходом из диапаузы (О.Б.Баликіна, 2012).

Продолжительность развития одного поколения капустной совки (от гусеницы до гусеницы) ( $Y$ , суток) также зависит от температурных условий (Л.І.Колеснік, 2009):

$$Y = -2,9X + 113,4, \quad r=0,94,$$

где  $X$  - средняя температура воздуха за период развития поколения, оС.

Историческое природное безлесье степных районов характеризуется обедненным по сравнению с лесостепными континентальными, составом дендрофауны полезных насекомых и поэтому менее эффективным механизмом саморегуляции, что располагает к большим пестицидным нагрузкам на сельскохозяйственные угодья.

Однако, исследования основной массы животных и микроорганизмов агроценозов, изучения их источников питания показало, что только 1% видов питаются культурными растениями, то есть являются вредителями. Большая же их часть ( $\approx 70\%$ ) являются зоофагами – организмами, которые существуют за счет вредителей. Остальные же перерабатывают остатки растений и животных.

Оптимальная структура севооборота является одним из способов борьбы с вредителями. Для предупреждения поражения пшеницы грибками возбудителями необходимо чтобы посевы яровых находились на расстоянии от полей с озимыми.



Создание лесных насаждений и демпферных полос также улучшает эпидемиологическое состояние агроландшафтов. Для каждой природной зоны существует свой набор рекомендуемых растений для выращивания.

Кроме того, необходимо иметь в виду, что в зонах сельскохозяйственного производства нельзя использовать деревья и кустарники, являющиеся промежуточными хозяевами или сильно поражающиеся грибными болезнями и вредителями, опасными для важнейших в экологическом отношении сельскохозяйственных культур. Нужно подбирать породы таким образом, чтобы разорвать устойчивые трофические или консортивные связи. При правильном подборе древесно-кустарниковых компонентов в искусственных насаждениях могут сложиться такие трофические связи, когда энтомофаги с не специализированным смешанным типом питания на определенном этапе роста численности вредителей могут быть очень эффективным элементом системы биозащиты. Пространственными барьерами на пути перемещения вредных организмов могут стать лесополосы из хвойных растений, например сосны Крымской (В.И.Митрофанов и др., 1994).

Более всего подвергаются поражению болезнями и паразитами такие многолетние кустарники как барбарис (ржавчина), бересклет, калина (тля), поэтому их разведение в лесных полосах вблизи сельскохозяйственных полей очень нежелательно. Следует также иметь в виду (М.В.Шестопалов, 2005), что в лесных полосах также сильно заселяются вредителями такие породы как яблоня, разные виды клена и абрикосы, а меньше всего – вербняк (лябурнум обыкновенный) и платан восточный, совсем не поражаются – софора японская и маклера оранжевая (табл.2.54). В лесных насаждениях предгорного Крыма выявлено (М.В.Шестопалов, 2005) наибольшее количество вредителей на различных видах дуба, сосны обыкновенной и крымской, минимальное количество на туе обыкновенной и держидереве (табл.2.55). Следует, по всей видимости, учитывать приспособляемость многоядных видов к новым источникам пищи.

В табл.2.56,2.57 представлены некоторые сведения о засоренности и поражаемости вредителями и болезнями отдельных сельскохозяйственных культур. Сорняки распространяются из природных резерваций на непахотных землях, а также сохраняются на полях сельскохозяйственных угодий. У однолетних видов зимуют семена, а у многолетних – как семена, так и подземные вегетативные органы. Наибольшее значение для формирования состава сорняков, имеет фитосанитарное состояние поля в предыдущем году.

Хоть культура, которую выращивают, не является источником питания сорняков, как это наблюдается с вредителями и возбудителями болезней, определенные особенности обработки почвы, размещения растений на площади и другие факторы обуславливают некоторую приспособленность отдельных видов сорняков к той или другой культуре. То есть состав сорняков на разных полях севооборота может существенно отличаться. Это в свою очередь, может влиять на формирование фауны

вредителей, так как для большинства видов насекомых некоторые виды сорняков являются кормовыми растениями.

**Таблица 2.54.** Количество вредных членистоногих, выявленных в полезащитных лесных полосах предгорного Крыма (М.В.Шестопапов, 2005)

№	Порода	Количество выявленных фитофагов	Наиболее вредоносные виды
1	Абрикос обыкновенный	12	американский белый мотылек, калифорнийская щитовка, непарный шелкопряд, сливовая плодожорка
2	Акация белая	5	калифорнийская щитовка
3	Акация желтая	5	калифорнийская щитовка
4	Боярышник одноматочный	6	боярышниковая кружковая моль
5	Бирючина обыкновенная	4	сиреневый бражник
6	Каштан конский	3	калифорнийская щитовка
7	Клен остролистный клен татарский клен ясенелистый	12	американский белый мотылек
8	Лох узколистный (дикая маслина)	3	Вербная кривоусая листовертка
9	Грецкий орех	8	американский белый мотылек, крымский плосконос
10	Лябурнум обыкновенный (вербняк)	2	крымский плосконос
11	Скумпия кожевенная	4	итальянский клоп
12	Софора японская	-	вредителей не обнаружено
13	Тополь пирамидальный	16	непарный шелкопряд, американский белый мотылек
14	Шелковица белая шелковица черная шелковица красная	7	американский белый мотылек, непарный шелкопряд
15	Платан восточный	2	американский белый мотылек
16	Яблоня обыкновенная, яблоня лесная	22	Яблонева плодожорка, американский белый мотылек, калифорнийская щитовка, крымский плосконос, непарный шелкопряд
17	Ясень обыкновенный	12	американский белый мотылек, непарный шелкопряд
18	Миндаль обыкновенный	3	миндальная златка
19	Терн	4	калифорнийская щитовка, американский белый мотылек
20	Маклера оранжевая	-	вредителей не обнаружено

**Таблица 2.55.** Количество вредных членистоногих в лесных насаждениях, прилегающих к сельскохозяйственным полям предгорного Крыма (М.В.Шестопалов, 2005)

№	Порода	Количество выявленных фитофагов, шт.	Наиболее вредоносные виды
1	Сосна обыкновенная сосна крымская	15	непарный шелкопряд
2	Туя (биота) восточная	2	непарный шелкопряд
3	Можжевельник обыкновенный, можжевельник вонючий	6	непарный шелкопряд
4	Различные виды дуба (пушистый, черешчатый, обыкновенный)	20	Дубовый шелкопряд, дубовая зеленая листовертка, непарный шелкопряд, дубовая блошка
5	Граб восточный граб обыкновенный	9	непарный шелкопряд
6	Держидерево	3	непарный шелкопряд
7	Лещина (орех лесной)	11	непарный шелкопряд

**Таблица 2.56.** Засоренность посевов зерновых, зернобобовых и крупяных культур (В.Ф.Сайко и др., 1989)

Культура	Обследованная площадь, %		При засоренности, шт./м <sup>2</sup>				
	от общей площади	в т.ч. засоренная, %	1-5	5-15	15-20	50-100	более 100
Озимые зерновые,	95,7	96,9	10,4	47,2	25,4	10,4	6,6
в т.ч. пшеница	97,6	96,5	10,5	47,1	24,9	10,3	7,1
Кукуруза на зерно	93,7	99,2	8,4	40,7	31,1	14,4	5,3
Яровые зерновые,	87,7	96,6	9,9	46,9	27	11,5	4,7
в т.ч. ячмень	93,6	96,1	9,6	46	27,7	11,7	5
Зернобобовые,	95,7	98,3	12,3	44,1	23,3	10,4	9,9
в т.ч. соя	99,5	80,8	34,1	37	18,4	7,8	2,7
Просо, сорго	88,4	92,3	27	38,1	23,9	6,3	4,7
Гречиха	91	90,3	1,2	45	29,2	12,7	11,9
Рис	100	87,5	33,2	39,1	18,6	7,1	2

Степень засоренности посадок определяют по количеству сорняков на 1 м<sup>2</sup>. Так, при наличии однолетних сорняков в количестве менее 10 шт./м<sup>2</sup> и многолетних менее 1 шт./м<sup>2</sup> – степень засоренности слабая, при 10-50 шт./1м<sup>2</sup> однолетних и 1-5 шт./м<sup>2</sup> – многолетних – средняя, при более 50 шт./м<sup>2</sup> однолетних и более 5 шт./м<sup>2</sup> многолетних – сильная (А.К.Дударь, 1980).

Способы обработки почвы и предшественники имеют значительное влияние на засоренность посевов сорняками. При систематической плоскорезной обработке почвы и мелкой вспашке количество сорняков увеличивается в раза и больше по сравнению с отвальной обработкой (Я.П.Цвей, О.В.Бойчук, 2012 и др.) (табл.2.58). В табл.2.58 показано, что на

период кушения в посевах озимой пшеницы преобладали двудольные сорняки, на период сбора урожая видовой и количественный состав сорняков изменился в силу их периода вегетации, уменьшения густоты посевов, влагообеспеченности и изменением питательного режима почвы. На период сбора урожая озимой пшеницы в растительном биоценозе больше всего было однодольных сорняков, особенно мышея сизого (*Setaria glauca* L.) и проса петушиного (*Echinochloa crusgalli* L.) появился также паслен красный (*Solanum nigrum* L.).

Описание пространственных перемещений особей предусматривает учет в модели большого количества как абиотических, так и биотических факторов, внутри- и межвидовых взаимодействий. Однако при наличии существенной неоднородности среды и взаимовлияния миграционного и жизненного циклов игнорировать пространственный фактор не представляется возможным (В.Н. Говорухин и др., 1999).

**Таблица 2.57.** Вредители и болезни ячменя по фазам развития растения (по В.Ф.Сайко и др., 1989)

Фаза развития	Этап органогенеза	Вредитель, болезнь	Экономический порог вредоносности
До посева		болезни семян, проростков, всходов (возбудители инфекций), корневой гнили, головни), почвообитающие вредители	С учетом семенной инфекции
Всходы	I	Шведская и другие злаковые мухи,	30-50 мух на 100 взмахов сачком
		хлебная полосатая блоха и стеблевые блохи	300 особей на 100 взмахов сачком
Кушение	II	хлебный пилильщик, вредная черепашка	4 имаго на 1 м <sup>2</sup>
	III	хлебная пьявица	10-15 жуков на 1 м <sup>2</sup>
Выход в трубку	IV, V, VI, VII	мучнистая роса, ржавчина, корневые гнили	При выявлении первых признаков или прогнозе развития болезни
		хлебная пьявица	0,5-1 яйцо или личинка на растение
Колошение	VIII	мучнистая роса, ржавчина, болезни колоса	при угрозе развития на верхнем ярусе листьев и колосе
Рост, налив зерна, созревание	X, XI	вредная черепашка (личинки),	2 особи 4-5-го возраста на 1 м <sup>2</sup> в фазе молочной спелости,
		тли,	15-20 на колос
		трипсы,	40-50 на колос
		хлебные мухи	3-5 на 1 м <sup>2</sup>

Подход к моделированию пространственной структуры популяций, основанный на представлении о чисто случайном характере перемещений животных (А.Н.Колмогоров и др., 1937), дает теоретическое объяснение таким феноменам, как пятнистость распределения популяций, парадокс

фитопланктона и т.д. Математическое описание этих эффектов состоит в описании бифуркаций в системах типа «реакция – диффузия», возникающие при этом устойчивые режимы (диссипативные структуры) существенно неоднородны: наблюдаются как не зависящие от времени распределения, так и периодические (при наличии периодических внешних воздействий), а также бегущие волны и т.п. Однако описание пространственно неоднородных режимов в рамках моделей

**Таблица 2.58.** Видовой состав сорняков в посевах озимой пшеницы на период кущения, шт./м<sup>2</sup> (УЛИСС, 2008-2010 гг., Винницкая обл.) (Я.П.Цвей, О.В.Бойчук, 2012)

Перечень сорняков	Способ и глубина обработки почвы			
	Пахота на 20-22 см	Мелкое дискование на 10-12 см	Плоскорез на 20-22 см	Мелкая обработка на 4-5 см
Звездочник средний ( <i>Stellaria media</i> L.)	6,7	22,7	17,0	13,3
Подмаренник цепкий ( <i>Galium aparine</i> L.)	13,0	55,0	116,3	48,0
Фиалка полевая ( <i>Viola arvensis</i> Murr.)	1,5	4,0	7,5	6,5
Дрема белая ( <i>Melandrium album</i> Mill.)	3,3	6,3	3,0	5,0
Лебеда белая ( <i>Chinopodium aibum</i> L.)	3,0	6,0	5,0	51,0
Вероника полевая ( <i>Veronika arvensis</i> L.)	2,7	9,7	7,7	5,0
Якутка полевая ( <i>Thlaspi arvense</i> L.)	5,7	12,7	13,7	20,0
Ромашка непахучая ( <i>Matricaria perforate merat.</i> )	1,0	2,7	4,0	3,7
Подорожник большой ( <i>Plantago major</i> L.)	0,0	0,7	0,0	1,5
Гусиные лапки ( <i>Potentilla anserine</i> L.)	0,0	1,0	3,5	2,0
Осот желтый ( <i>Sanchus arvensis</i> L.)	0,3	0,7	1,0	1,7
Осот розовый ( <i>Cirsium arvensis</i> L.)	0,7	1,7	5,0	10,7
Другие виды	0,7	0,0	0,0	0,0
Всего двудольных	36,3	119,3	178,3	148,0
Всего однодольных	0,0	0,0	0,0	0,0
Всех видов	37,0	119,3	178,3	(148)
Из них, % двудольных	100,0	100,0	100,0	100,0
злаковых	0,0	0,0	0,0	0,0

диффузионного типа требует наличия в них сложных нелинейных моделей локальной популяционной кинетики или неавтономности систем (необходимость внешних периодических факторов). Кроме того, диффузионные модели могут лишь с оговорками применяться для описания пространственного поведения популяций высокоорганизованных животных-мигрантов.

Большое количество теоретических моделей посвящено изучению миграционных механизмов адаптации популяционных систем к неоднородным, случайно флуктуирующим воздействиям среды и влиянию миграционного поведения животных на жизнеспособность популяций, характеризующуюся вероятностной величиной риска их вымирания. Этот подход, развиваемый в рамках островной биогеографии и

метапопуляционной теории в приложении к природоохранной практике, породил так называемую проблему SLOSS, имеющую отношение к выбору размеров и структуры заповедных зон.

Учет миграций, формализуемых введением в модели диффузии, позволяет описать процессы реколонизации местообитаний, значительно повышающее вероятность выживания видов и способствующее адаптации популяции к флуктуирующей среде.

Эволюция живых организмов – непрерывный процесс их адаптации к условиям обитания. Если в основу классификации положить временные характеристики среды, то все факторы можно разделить на три группы, к каждой из которых организм приспосабливается специфическим образом (В.Леонович, 1985):

- 1) относительно стабильные факторы (например, гравитация), к которым организмы приспосабливаются морфологически;
- 2) периодически меняющиеся факторы (циклические ритмы, времена года и прочее), к которым организм приспосабливается преимущественно функционально;
- 3) факторы среды, которые меняются быстро, не ритмически, случайным образом, к ним организм может приспособиться только поведенчески.

Это деление, конечно, весьма условно, но оно помогает глубже понять целостную структуру адаптации организма к среде обитания. Периодичность факторов среды также относительна, что связано с длительностью онтогенеза одного поколения.

При моделировании миграционных процессов естественно рассматривать пространственно распределенные трофические сообщества. Необходимо также ввести в рассмотрение детерминированные переменные перемещения мигрантов относительно среды их обитания, наряду с традиционно рассматриваемой диффузией. При этом разумным требованием к модели является ее способность демонстрировать устойчивые режимы, обладающие пространственной и временной неоднородностью. Подход к построению такого рода моделей основан на предположении детерминированности перемещений мигрантов неоднородностью среды обитания, т.е. неоднородностью распределения стимулов – свойств среды и самой популяции,- наблюдаемых мигрантами – потребителями и оцениваемых ими как блага или угрозы.

Исследование такой модели (В.Н. Говорухин и др., 1999) позволило сделать следующие выводы:

- 1) при достаточно высокой активности направленных миграций возникают автоколебания, индуцируемые только миграционным фактором;
- 2) при учете активных миграций интервал выживаемости популяции значительно шире, чем при их отсутствии, более того, активно мигрирующие особи потребляют больше корма в условиях его дефицита, чем «оседлые»;
- 3) запас ресурса в точечной модели всегда ниже, чем в режиме автоколебаний миграционной модели;

4) при одних и тех же значениях параметров в системе одновременно существует несколько аттракторов, т.е. при различных начальных данных могут устанавливаться различные режимы функционирования популяций (стационарные или автоколебательные), причем при наличии определенной неоднородности начального распределения либо ресурса, либо потребителя устанавливаются автоколебания.

К перспективным методам стабилизации фитосанитарной обстановки относят биометоды защиты растений. Тут ставится вопрос о том, при какой насыщенности биометодом системы защиты растений получится высокая прибыль, и стабильность агросистемы не пострадает? Исследования (А.В.Фокін, 2008) показали, что при учете резистентности в моделях защиты растений при 10% и 20% насыщении биометодом величина условной прибыли уменьшается на 15,75-18,49%.

Согласно (А.Боурке, 1970; В.И.Терехов, Д.В.Денисова, 2001) фитопатологический прогноз целесообразен в случаях: 1) болезнь наносит значительный экономический урон (качественный или количественный); 2) воздействие болезни ощутимо в пределах сезона; 3) начало атаки, скорость нарастания, конечный уровень непостоянны и поддаются оценке, причем часть этих переменных может быть связана с погодой непосредственно или косвенно; 4) имеются средства борьбы, лечебные или превентивные, применение которых целесообразно в экономическом смысле; 5) имеется информация о природе влияния погоды на болезнь. Для составления прогноза развития болезни необходимо (К.М.Степанов, 1962): 1) знание циклов развития возбудителя в соответствии с циклами развития растения-хозяина; 2) учет местного запаса заразного начала (включая состав рас возбудителя и их агрессивность), степени устойчивости сортов растения-хозяина, проводившихся и намеченных к проведению общетехнических и специальных мероприятий по борьбе; 3) знание закономерностей влияния факторов среды на вирулентность возбудителя и его рассеивание, на устойчивость хозяина и прохождение им фаз вегетации; 4) возможность заранее предвидеть состояние факторов среды (иметь прогноз изменения погодно-климатических условий).

При краткосрочном прогнозировании, как правило, проводят (В.И.Терехов, Д.В.Денисова, 2001): оценку возможности осуществления инфекции, длительность инкубационного периода, интенсивность первичного проявления, скорость и интенсивность прохождения отдельных этапов патогенеза. При долгосрочных прогнозах выявляют расовый и биотический состав болезней растений.

Индекс вредоносности болезни (S) может быть определен следующим образом (В.И.Терехов, Д.В.Денисова, 2001):

$$S = \frac{1}{r} \ln[1 + y_0(\exp(rt) - 1)]$$

где  $r$  – относительная скорость развития болезни, сут<sup>-1</sup>;  $t$  – время, сут.;  $y_0$  – интенсивность первичного проявления болезни.

Вредоносность болезни (потери урожая или его качества и т.п.) может быть оценена следующим образом (В.И.Терехов, Д.В.Денисова, 2001):

$$Q=Q_i(1-\exp(-\alpha_i S)),$$

где  $Q_i$ - вредоносность  $i$ -го патогена;  $\alpha_i$  – постоянная для  $i$ -го патогена.

Интенсивность первичного проявления болезни вычислением определяется следующей зависимостью:

$$y_0 = [f_1^1(t)f_1^1(T) - \varepsilon] \alpha_i \ln(\gamma_i P + 1)$$

где  $f_1^1(t)$  - функция влияния температуры на интенсивность инфекционного процесса;  $f_1^1(T)$ - то же для длительности влажного периода;  $\varepsilon$  – малый параметр, обращающий  $y_0$  в нуль при критических значениях  $t$  или  $T$ ;  $\gamma$  – коэффициент инфекционности;  $P$  – плотность отложения инокулюма;  $i$  – индекс патогена.

#### 2.4. Биоразнообразие, структура ареалов и устойчивость популяций

Под биологическим разнообразием, как правило, понимают внутривидовое, видовое и надвидовое (ценотическое) разнообразие жизни. Оно означает вариабельность живых организмов из всех источников, включая наземные, водные экосистемы и экологические комплексы, частью которых они являются.

Термин «биологическое разнообразие» впервые применил Г.Бэйтс в 1892 г., однако основные научные концепции биоразнообразия были сформулированы лишь в середине XX в.

В.К.Шитиков и Г.С.Розенберг (2005) на основе анализа литературных источников выделяют несколько уровней биологического разнообразия: 1) генетическое разнообразие (уровни гетерозиготности, полиморфизм и т.п.), 2) разнообразие на уровне отдельных особей (возраст, вес, рост и т.п.), 3) видовое разнообразие (число видов в определенном местообитании), 4) экосистемное разнообразие (связано с плотностью распределения вида, экологическими нишами, конкурентной борьбой и т.п.). В.А.Соломаха с соавторами 2005 определили 6 уровней агробиоразнообразия (табл.2.60).

Согласно Ю.Одуму (1975) видовое разнообразие складывается из двух компонентов: 1) видового богатства или плотности видов, которое характеризуется общим числом имеющихся видов; 2) выравненности, основанной на относительном обилии или другом показателе значимости вида и положении его в структуре доминирования.

Исходя из этой концепции разработано многочисленное количество формул для оценки биоразнообразия, которые называют индексами. Выделяют следующие группы индексов (В.К.Шитиков, Г.С.Розенберг, 2005): 1) индексы, основанные на формуле дисперсии (индекс Симпсона или Херфиндаля-Хиршмана и др.), 2) индексы, основанные на формуле энтропии (индекс Шеннона, Маргалефа и Бриллюэна и др.), 3) другие



методы оценки выравненности сообществ (индекс Бергера-Паркера, индекс Джини, индекс Макинтоша и др.).

На сегодняшний день строгой методики оценки биоразнообразия, отвечающей естественному функционированию ареалов видов с учетом их морфологических, функциональных, экологических особенностей не существует. Как и строго не определено, что может служить эталоном разнообразия – экосистема с равными обилиями видов или нет.

**Таблица 2.59.** Элементы агробиоразнообразия (В.А.Соломаха и др., 2005)

Уровень	Культивируемый компонент	Спонтанный (природный) компонент
Генетический	Разнообразие внутри используемых сортов растений, штаммов микроорганизмов и пород животных	Генетическая гетерогенность популяций диких организмов в агроэкосистемах
Популяционный	Разнообразие массово используемых сортов растений, штаммов микроорганизмов и пород животных	Разнообразие генетически обусловленных экотипов, ценопопуляций, географических рас, подвидов и т.п. среди диких организмов
Видовой	Разнообразие используемых видов культивируемых микроорганизмов	Видовое разнообразие диких организмов
Ценотический	Разнообразие агроценозов (агроэкосистем)	Разнообразие спонтанных ценозов на сельскохозяйственных землях
Ландшафтный	Разнообразие типов хозяйств с точки зрения экологии (по характеру обмена веществ и энергии)	Разнообразие сохранных фрагментов природных ландшафтов
Зональный	Разнообразие зональных типов сельского хозяйства	Разнообразие типов экосистем, присущих природным зонам (биомам)

По официальным данным (Національна доповідь..., 1997), считается, что биота Украины представлена 70 тыс. видов. В то же время порядок цифр для биоты Европы намного выше, так только животные здесь представлены 201070 таксонами (ЕСНС...,1999). Для значительной части Украины (55% по В.І.Придатко, 2000) преимущественная часть биоразнообразия переродилось в биоразнообразии агроландшафтов. Количество именно степных видов во флоре луговых степей Среднего Приднпровья за последнее столетие уменьшилось примерно на 4% (19

видов), что обусловлено отрицательным антропогенным влиянием и климатическими изменениями. Большие изменения претерпевает флора южного берега Крыма, в частности, изменяется перечень эндемичных видов, отмечено проникновение 6-7 адвентивных видов, в основном, из-за разрушения природных экосистем и формирования качественно новых – из-за рекреации, урбанизации, нарушения природных экосистем, пожаров. В то же время отмечается восстановление лиственных и хвойных пород на открытых угодьях в зоне отчуждения Чернобыльской АЭС.

Национальными экспертами выбрано и названо 128 видов диких животных и растений (птицы-34%, млекопитающие-23%, сосудистые растения – 23%, безхребетные-20%), которые могут служить ориентирами для оценки состояния биоразнообразия в агроландшафтах Украины и для обзора факторов влияния на агробиоразнообразие. За период с 1950 г. по 2003 г., в целом, смена численности диких видов из различных таксономических групп, зависящих от состояния дел в сельском хозяйстве, имела разные тренды, например, снижения, потом стабилизация, рост или снижение (Підсумки презентації...//Агробіорізноманіття..., 2005). Индекс природного капитала для сельского хозяйства Украины (agro-NCI) в 2001 году по сравнению с 1994 годом приближался к 52%, а индекс живой планеты (agro-biodiversity LPI) имел тенденцию к росту. Согласно обобщенного индекса агробиоразнообразия (индекса Квашук) наблюдается ухудшение состояния агробиоразнообразия в Украине в сравнении с базовым 1995 годом, его осталось 93,31%, темпы потерь составляют примерно 0,95% каждый год. Самым слабым звеном в агро сфере Украины являются сельскохозяйственные животные (индекс 79,93%) и, в частности, сельскохозяйственные копытные животные (индекс 57,06%), что объясняется составом сельскохозяйственного производства последнего десятилетия.

Основные факторы, влияющие на биоразнообразие, делят на природные и антропогенные.

К природным относят: 1) глобальные изменения в окружающей среде: увеличение температуры, опустынивание и т.п.; 2) агрессия, наступление новых видов, их скрещивание с исконными для данной территории: исчезновение некоторых автохтонных видов деревьев и появление вместо них одного из американских видов клена; исчезновение кашемирового оленя и появление оленя сика и гибридной популяции, конкурентное вытеснение европейской норки американской норкой и хорьком, постепенное замещение хорька, куницы и барсука в ходе конкуренции с енотовидной собакой.

К антропогенным факторам относят: 1) территориальное планирование; 2) транспорт; 3) сельское хозяйство; 4) лесоводство; 5) охота и рыболовство; 6) мелиорации; 7) энергетический комплекс и промышленность; 8) военный сектор; 9) отдых и туризм. Они приводят к 1) внесению беспорядка в исторически сложившиеся отношения внутри естественных экосистем и к уничтожению животных во время миграции;

2) снижению естественного разнообразия на освоенных территориях; 3) ухудшению ландшафта; 4) ликвидации природных местообитаний; 5) дисбаланс сообществ, нарушение их внутренней структуры и процесса восстановления некоторых видов; 6) уменьшение видового разнообразия и генетического фонда различных видов в лесных формациях; 7) замедленное развитие некоторых исчезающих и редких видов и увеличение количества видов, которые исчезли или находятся на грани исчезновения в последние 15-20 лет; 8) ослабленная сопротивляемость лесов болезням и вредителям; 9) нестабильность микроэволюционного процесса; 10) загрязнение водных бассейнов промышленными и городскими сточными водами; 11) загрязнение водных объектов поверхностным стоком с техногенных территорий; 12) чрезмерное евтрофирование водоемов; 13) накопление отходов и т.д.

Угрозы культурной биоте в зависимости от уровня организации классифицируют следующим образом (В.А.Соломаха и др., 2005):

1. Исчезновение в культурных организмах генов, характерных для диких предков, придающих им устойчивость против болезней, неблагоприятных условий среды (практически все культивируемые виды, особенно высокоспециализированные породы), а также могут служить для восстановления вымерших диких предков (тур, тарпан). Значительное количество генов диких форм может создавать проблемы, вследствие снижения продуктивности культурных форм.
2. Исчезновение генов приобретенных в процессе «народной» селекции, из-за уменьшения поголовья и вымирания местных пород, сортов и культур (касается всех традиционно используемых видов). Потеря этого бесценного сокровища – национальная катастрофа, связана с интенсификацией сельскохозяйственного производства и отказом от традиционного хозяйства, проблема напрямую связана со снижением местных «народных» форм. Недостаточное государственное распространение районированных сортов и пород, особенно среди частного сектора. Проблема низкого разнообразия пород и сортов вообще сейчас несколько утратила свою актуальность в государстве. Но явно низкой является количество используемых сортов и пород в конкретных хозяйствах, фермах, полях и т.д., что снижает стабильность продуктивности при смене условий среды, а также стабильность доходности хозяйств при смене экономических условий. Не достаточно распространенной является практика смешанно сортовых посевов, посадок рыбы разных пород, совместное выпасание разных пород и видов скота и т.п., что дает возможность полнее использовать ресурс, а также при снижении продуктивности одной формы компенсировать убытки за счет другой. То же самое касается видового разнообразия культивируемых форм.
3. Исчезновение генов, приобретенных в процессе селекции (в том числе вследствие искусственного мутагенеза или гибридизации), актуально для редкостных и исчезающих культурных форм, а также для недавно

завезенных немногочисленных пород и сортов. Проблема связана со снижением редкостных селекционных форм.

4. Снижение качества используемых организмов вследствие влияния завезенных, а также приобретенных путем гибридизации и горизонтального переноса генов.
5. Отсутствие строгого контроля за качеством реализованных селекционных форм и их стопроцентной сертификации. Отсутствие государственной регистрации многих важных продуктивных сортов и пород.
6. Не контролируемый ввоз нерайонированных сортов и пород, а также нетрадиционных для местных видов. Спонтанная гибридизация, что приводит к загрязнению генофонда народных и районированных форм (использование промышленных гетерозисных гибридов в дальнейшем разведении создает те же самые проблемы, с другой стороны, эти процессы способны дать большую модификационную изменчивость – ценный материал для отбора, который требует соответствующей организации.

Природное разнообразие ландшафтов – основа их устойчивости к антропогенным воздействиям. Особую важность сохранение такого разнообразия приобретает на осушаемых или орошаемых, окультуренных площадях.

В оценку природного разнообразия агроландшафта рекомендуют (Экологическая оптимизация..., 1987) включать: водоохранные лесные насаждения, ползащитные и придорожные лесные насаждения, лесные насаждения населенных пунктов, опушки лесных массивов, водоемы (озера, реки с естественными руслами, искусственные водоемы), места выхода на поверхность грунтовых вод, источников, болота, заболоченные (нескошенные) луга, сады, мелиоративные каналы (с защитной полосой). Все перечисленные объекты природного и антропогенного происхождения выполняют различные стабилизационные функции: почвозащитные, водоохранные, создают условия для существования фауны и др. В различных типах ландшафтов интенсивность проявления вредных антропогенных процессов неодинакова. Различаются в них и параметры сохранения и формирования природного разнообразия.

Основное антропогенное давление и наиболее интенсивное проявление стабилизирующих и саморегулирующих функций происходит в местах соприкосновения разных экотонов – различных земельных угодий, типов растительности на приводомных полосах. Поэтому наиболее важными количественными показателями вышеперечисленных природных и антропогенных объектов являются их периметр и степень влияния их на различные природные и антропогенные процессы. В зависимости от характера такого влияния они оцениваются баллами с соответствующим знаком (табл.2.60). Баллы суммируются, а полученное число делится на 10. Так получается коэффициент влияния (веса) того или иного элемента в агроландшафте. Умножая коэффициент на периметр (I)

**Таблица 2.60.** Оценка степени влияния природного разнообразия агроландшафтов на различные природные и антропогенные процессы (Экологическая оптимизация..., 1987)

Элементы природного разнообразия и индекс их периметра	Характер влияния усиливает, ускоряет (-), замедляет, предотвращает (+)									Сумма баллов (+или -)	Коэффициент $x$
	скорость ветра	очистка атмосферного воздуха	задержание снега	охрана почв, уменьшение эрозии	фауна	растительность	питание грунтовых и поверхностных вод	очистка загрязненных вод	влияние на основное землепользование (производство)		
Водоохранные лесные насаждения ( $I_1$ )	+2	+1	+2	+1	+1	+1	+1	+5	+1	+15	$x_1=1,5$
Придорожные лесные насаждения, насаждения населенных пунктов ( $I_2$ )	+2	+1	-1	+1	-1	-	+1	+1	+1	+5	$x_2=0,5$
Опушки лесов ( $I_3$ )	+4	+4	-1	-	+1	+1	+1	+1	-1	+10	$x_3=1$
Озера, искусственные водоемы ( $I_4$ )	-	+1	-1	-	+2	+2	+2	+1	+1	+8	$x_4=0,8$
Реки, ручейки (с природными руслами) ( $I_5$ )	-	-	-1	-	+2	+2	+4	+4	-1	+10	$x_5=1$
Места выхода грунтовых вод, источников ( $I_6$ )	-	-	+1	-	+1	+1	+40	-2	-1	+40	$x_6=4$
Болота ( $I_7$ )	-	-	+1	-	+2	+2	-1	+4	-1	+7	$x_7=0,7$
Заболоченные (нескошенные) луга ( $I_8$ )	-	-	+1	+2	+1	+2	+2	+2	-2	+8	$x_8=0,8$
Сады ( $I_9$ )	+1	+1	+1	-2	+1	-	-	-	-	+2	$x_9=0,2$
Мелиоративные каналы ( $I_{10}$ )	-	-	-2	+2	+1	+1	+1	+1	-3	+1	$x_{10}=0,1$

конкретного объекта и суммируя все произведения, получает периметр природного разнообразия данной территории (Экологическая оптимизация..., 1987):

$$\sum l = x_1 l_1 + x_2 l_2 + x_3 l_3 + x_4 l_4 + x_5 l_5 + x_6 l_6 + x_7 l_7 + x_8 l_8 + x_9 l_9 + x_{10} l_{10},$$

или согласно табл.2.61.

$$\sum l = 1,5l_1 + 0,5l_2 + 1l_3 + 0,8l_4 + 1l_5 + 4l_6 + 0,5l_7 + 0,4l_8 + 0,2l_9 + 0,1l_{10},$$

где  $l_1-l_{10}$  – периметры отдельных оцениваемых элементов природного разнообразия (экотонов).

Для ландшафтов основных внутризональных типов предлагаются следующие количественные параметры: минимальная площадь, для которой устанавливается периметр природного разнообразия, параметры этой площади и сам периметр (табл.2.61).

**Таблица 2.61.** Величины периметров разнообразия в различных типах ландшафтов

Тип ландшафта	Минимальная площадь, га	Параметры площади, м	Периметр элементов природного разнообразия (экотонов), м
Глинистые равнины	100	800×1200	1500-4000
Песчаные равнины	60	700×900	2400-3600
Склоны возвышенностей, волнистые равнины	50	600×800	3000-4000
Возвышенности	15	300×400	1200-1300

При сохранении, а особенно при создании объектов природного разнообразия преимуществом пользуются места, мало пригодные для интенсивного сельскохозяйственного землепользования. Это в первую очередь придорожные полосы, углы пересечения мелиоративных каналов, дорог или дорог с каналами, трудно осушаемые закрытые, заболоченные места, малоплодородные и неудобные для земледелия.

Обобщенный индекс агробиоразнообразия (индекс Квашук) ( $I$ ) рассчитывается на основе следующих индексов: индекса биоразнообразия диких животных ( $I_{д\_тв}$ ), индекса биоразнообразия сельскохозяйственных животных, используемых для производства еды ( $I_{п\_тв}$ ), индекса биоразнообразия сельскохозяйственных культур, используемых для производства еды ( $I_{п\_кул}$ ), индекса земельного ресурса ( $I_{зем\_р}$ ):

$$I = (I_{д\_тв} + I_{п\_тв} + I_{п\_кул} + I_{зем\_р})/4.$$

Индекс биоразнообразия диких животных отражает состояние популяций диких животных агроландшафтов, представленных как численность копытных животных, меховых животных и пернатой дичи, из них наиболее ассоциируются с агроландшафтами, (в том числе с островками древесной растительности, полезащитными лесополосами, лугами, пастбищами, вырубками, полями и т.п.) такие как кабаны, косули, куропатки, гуси, перепела, кулики, голуби, зайцы, лисицы, волки, дикие

кролики, байбаки, хорьки черные. Индексы рассчитываются сначала для каждого вида животных как произведение индивидуального индекса  $i$ -ого вида животных на долю  $i$ -ого вида животных в общем количестве животных. Индивидуальные индексы рассчитываются как отношение поголовья отчетного года к базовому, умноженного на 100. Затем рассчитывается взвешенный индекс по группе животных (копытные, меховые, дичь), как произведение индексов для каждого вида животных в группе. Обобщенный индекс диких животных рассчитывается как среднее арифметическое взвешенных индексов по группам животных.

Обобщенный индекс биоразнообразия животных используемых для производства еды отражает состояние популяций нескольких групп сельскохозяйственных животных (копытные, меховые звери (кролики) и птица). Рассчитывается аналогично предыдущему индексу.

Обобщенный индекс биоразнообразия культур используемых для производства еды включает 27 видов сельскохозяйственных угодий под разными видами культур. Рассчитывается аналогично предыдущим индексам.

Обобщенный индекс земельного ресурса рассчитывается на основе данных про изменение урожайности относительно базового года и структуры посевной площади по 31 виду сельскохозяйственных угодий. Принцип расчета аналогичен предыдущим индексам.

Размеры ареала, его структура и неоднородность играют важную роль в обеспечении устойчивости популяции. Системы организации территории (сооружение дорог, трубопроводов, ирригация и т.п.) преобразуют естественное местообитание. Непрерывные ареалы расчленяются и превращаются в архипелаги или в систему небольших местообитаний. Отрицательно влияют на устойчивость популяции и гомогенизация среды (Ю.А.Домбровский, Ю.В.Тютюнов, 1987). В качестве показателя живучести популяции принято среднее время жизни популяции в условиях случайных функций внешней среды. Согласно исследованиям (Ю.А.Домбровский, Ю.В.Тютюнов, 1987) оптимальную жизнеспособность обеспечивает структурированный на отдельные локусы ареал с интенсивным миграционным обменом, эволюционно согласованный со степенью коррелированности условий обитания субпопуляций. По результатам моделирования установлено, что 1) система небольших резерватов значительно эффективней одного большого той же емкости; 2) масштаб системы резерватов и взаимное расстояние между ними должны обеспечивать некоторую оптимальную коррелированность условий среды в разных местообитаниях, отличную как от полного совпадения, так и от полной независимости условий; 3) важным фактором жизнеспособности является высокий уровень взаимных миграций между резерватами, если его уровень низок, то следует увеличивать возможность миграционного обмена. При этом необходимость интенсивных миграций тем выше, чем ниже экологическая емкость резерватов.

Задача анализа видового разнообразия связана с исследованием жизнеспособности популяций. Продолжительность жизни всякой популяции в локальном местообитании с флуктуирующим состоянием среды ограничена. Долговременное неблагоприятное сочетание абиогенных и биогенных условий неизбежно должно привести в некоторый момент времени к вымиранию вида. Существенную роль в поддержании стабильности популяций играет площадь ареала обитания, характерным показателем которой является потенциальное число местообитаний  $M$  с максимальной для поддержания устойчивого существования площадью  $S_0$ . Относительно самостоятельные субпопуляции, являющиеся структурной единицей популяции, связаны между собой миграционными потоками в соответствии с заданной структурной схемой ареала (Ю.А.Домбровский, Ю.В.Тютюнов, 1987).

Установлено, что для фиксированной структуры ареала зависимость среднего времени жизни популяции от числа локусов  $M$  подчиняется логарифмическому закону:

$$T = a \ln M + b,$$

где  $a$  и  $b$  - константы.

Такая аппроксимация является наилучшей в смысле минимума среднеквадратического отклонения.

Существует связь между средним временем жизни каждой из популяций сообщества (числом поколений)  $T$  и количеством биологических видов, обитающих в пределах данного изолята. Число видов представляет собой результат динамического равновесия процессов вселения на остров новых видов и исчезновения старых:

$$\frac{dN}{dt} = I(S, N) - D(S, N),$$

где  $I(S, N)$  и  $D(S, N)$  – интенсивности иммиграции и вымирания видов, зависящее от площади «острова» и числа обитающих на нем видов данного таксона. Разумеется, эти функции зависят и от биогеографических особенностей архипелага. Количественной характеристикой размера местообитания является отношение общей площади изолята  $S$  к минимальной площади  $S_0$ , обеспечивающей нормальное существование локальной субпопуляции:

$$M = S/S_0.$$

Интенсивность исчезновения видов пропорциональна числу видов и обратно пропорциональна среднему времени существования популяции в данных условиях  $T$ .

Зависимость числа видов от площади (или числа местообитаний максимального размера) изолята (острова, озера и т.п.) допускает аппроксимацию функцией вида (Ю.А.Домбровский, Ю.В.Тютюнов, 1987):

$$N = \tilde{a} \ln S + \tilde{b}.$$

Для амфибий и рептилий:  $\tilde{a} = 8,5$ ;  $\tilde{b} = -17,0$ .

Параметры представленной зависимости зависят от абиотических факторов: температуры, наличия загрязняющих веществ и т.п.



При эколого-географическом анализе и моделировании пространственного распространения биологических объектов в настоящее время успешно применяются ГИС-технологии (Т.Н.Booth, 1999; А.Н.Афонин, Ю.С.Ли, 2011 и др.) Классическим примером такого использования является задача выявления территорий, пригодных для возделывания или произрастания какой-либо растительности. В качестве экологических предикторов используют: среднегодовое количество осадков, характер выпадения осадков (равномерное или сезонное), продолжительность сухого периода, средние температуры самого холодного и жаркого месяца, средняя годовая температура и т.п. Для сравнения используются карты ареалов распространения видов растений. Последовательность действий при выявлении потенциального экологического ареала биологического объекта посредством Гис-технологий следующая (А.Н. Афонин, Ю.С.Ли, 2011):

- 1) выявление лимитирующих распространение вида факторов среды;
- 2) количественное определение экологической амплитуды вида по отношению к каждому лимитирующему фактору – это достигается сопоставлением имеющихся сведений о местах нахождения объектов и экологических карт;
- 3) выявление на экологических картах экологически пригодных территорий по отношению к каждому лимитирующему распространение вида фактору;
- 4) картирование потенциального экологического ареала вида, как территории, пригодной для произрастания вида по каждой из всей совокупности экологически пригодных территорий.

Под потенциальным экологическим ареалом вида понимают территорию, пригодную для произрастания вида по всему комплексу основных экологических факторов среды, лимитирующих его распространение. Следует сказать, что не только факторы среды лимитируют распространение вида, но и биотическое взаимодействие в биоценозах, способность к расселению (к примеру, механизм переноса семян), экологические барьеры и т.п. Часто под воздействием лимитирующего фактора наблюдается не гибель растений, а ослабление их конкурентоспособности и, как следствие, вытеснение их более приспособленными видами. Выявление же территорий потенциально пригодных для произрастания видов, важно для решения многих практических задач: интродукции растений, прогноза инвазий карантинными службами, оптимизации состава ценозов агроландшафтов для решения комплекса задач регулирования энтомофауны и сорняков и т.п.

Набор факторов, лимитирующих распространение многолетних травянистых растений, может быть несколько другим, чем у древесных растений. К примеру, тут важным может быть такой фактор как высота снежного покрова, частота и продолжительность оттепелей и т.п. Основным лимитом распространения древесных пород на север служат

летние температуры. Восточную границу распространения древесной растительности (для Евразии) определяют именно низкие зимние температуры. Южную же границу распространения, как правило, лимитирует увлажненность территории и ее сочетание с температурой (ГТК) (А.Н.Афонин, Ю.С.Ли, 2011).

По (О.П.Литвин, В.П.Федоренко, 2012) стабильность разнообразия биоты поддерживается за счет разнообразия экологических ниш с разными микроклиматическими условиями.

## **2.5. Структурность агроландшафтных комплексов**

Современные агроландшафты созданы из разных элементов агроэкосистем: пашни, пастбищ, сенокосов, многолетних насаждений, лесных массивов, кустарников, лугов, болот, дорог, сооружений и т.п.. Они составляют структуру агроландшафта и экологическое разнообразие, обуславливающие его стабильность и продуктивность (Нормативи ґрунтозахисних..., 1998). Природные биоценозы устойчивы и сбалансированы, они способны противостоять до предельным антропогенным нагрузкам, в то время как агроландшафты находятся под постоянным антропогенным воздействием и возможности авторегуляции у них ограничены.

Как уже говорилось в 1 главе, распашка степей, сведение лесов, сокращение удельного веса лугов и пастбищ привели к резкому изменению сложившихся естественных связей. При этом неблагоприятные для сельскохозяйственного производства явления – засухи, истощение почв и эрозионная их деградация резко снижают эффективность мероприятий по стабильному повышению продуктивности земель (А.Н.Каштанов и др., 1994). В таких условиях на сельскохозяйственных и природно-хозяйственных землях не сельскохозяйственного назначения необходима агролесомелиорация. В ней нуждаются миллионы гектаров пашни, пастбищ, овражно-балочных земель, сыпучих песков, гидрографическая сеть, берега водохранилищ и другие территории.

Обеспечению научно обоснованного использования земель способствует ландшафтно-экологическая структуризация территории, в процессе которой с учетом рельефа, состава и увлажненности почв, микроклиматического подхода выделяются элементарные ландшафтно-экологические территориальные единицы, и устанавливается допустимый уровень их использования: пашня, природные угодья, леса. Проект землепользования с эколого-ландшафтной организацией территории является индивидуальным и разрабатывается после формирования биоцентров, биокоридоров. Биоцентрами выступают участки, покрытые лесом, кустарником или травяной растительностью, залуженные, сильноосмытые и размываемые склоны, болота или заболоченные земли долин рек и балок. Расстояние между участками, центрами природных угодий

(биоцентрами) в агроландшафтах не должна превышать 1,0-1,2 км. Минимальная площадь биоцентров 8-10 га (П.Казьмір, 2003).

В оптимально организованной территории все биоцентры должны быть связаны биокоридорами в единую сеть. Роль биокоридоров могут играть продолговатые контуры с природной или близкой к ней растительностью, вдоль которых происходят биотические миграции между отдельными биоцентрами. В агроландшафте это могут быть залесенные или залуженные склоны, днища линейных эрозионных форм, лесополосы, водоохранные зоны рек, сами речные долины, какие-либо вытянутые не распахиваемые ареалы.

Одно из последствий интенсивного земледелия – почвоутомление (по Докучаеву – истощение почв) (А.Н.Каштанов и др., 1994). Это связано с односторонним выносом питательных веществ и односторонним применением пестицидов, однонаправленным развитием фитопатогенной и некоторых групп почвенной микрофлоры, усиленным размножением определенных видов сорняков и вредителей. К этому следует добавить накопление фототоксичных веществ и сдвиг рН. Многие из указанных причин в той или иной мере могут быть устранены применением существующих технологий. Однако некоторые вопросы изучены еще слабо. В первую очередь это относится к развитию некоторых групп почвенной микрофлоры и накоплению фототоксичных веществ в почве. Применяемая для этих условий стерилизация почвы путем вспашки с оборотом пласта лишь частично улучшает положение, так как верхний слой почвы с развитой аэробной микрофлорой, попав на дно борозды, способствует не только гибели вредных или просто чрезмерно развитых групп микроорганизмов, но и уничтожению, безусловно, полезных организмов. К этому еще добавляется интенсивное воздействие на поверхность почвы удобрений и пестицидов, что обуславливает не высокую эффективность использования тех или иных технологических приемов. Чтобы устранить это, необходимо провести экспериментальное изучение отдельных природно-хозяйственных контуров в процессе их практического применения (А.Н.Каштанов и др., 1994).

В настоящее время рекомендуют отводить под полезащитные лесные полосы в лесостепных районах 2,0-2,5 % площади, в степных – 3-4%, под приовражные и прибалочные насаждения – 7-8 % присетевого фонда, под насаждения на песках – 10-30% их площади. Оптимальная площадь лесных полос на склонах разной крутизны должна составлять: при 2-6° – 3,4-5,5 %, при 6-10° – 10% на склонах крутизной свыше 10° – 15,5%. Значение оптимальной лесистости увеличивается в ландшафтах с приоритетом водоохраных целей: от 17% в степной зоне до 23% в лесостепи (А.Н.Каштанов и др., 1994). Примерно такие же значения характеризуют и общую оптимальную лесистость для соответствующих природно-антропогенных зон.

Функции лесных насаждений многообразны (А.Н.Каштанов и др., 1994): они защищают посевы от выдувания, в 1,5-2 раза увеличивают

накопление снега, улучшают поглощение влаги почвой, повышают эффективность удобрений. Все это дает прибавку урожайности зерновых культур 0,3-0,4 т/га.

Лесные полосы, являясь преградой на пути движения воздушных масс, заметно снижают их скорость. Зона эффективного воздействия равна 25-30 высотам (Н) насаждений. На межполосных пространствах весной в метровом слое почвы накапливается на 150-200 м<sup>3</sup>/га влаги больше, чем на открытых полях. Накопление гумуса отмечено до 10 Н, улучшаются биохимические, физические и агрономические свойства почв на расстоянии до 25Н.

Суммарное просачивание воды в почву в лесных полосах составляет от 220 до 856 мм. Своей усиленной десукцией они способствуют стабилизации водного режима отрицательных элементов рельефа и улучшению микроклимата прилегающих территорий (В.В.Тищенко, С.И.Горбунов, 2008).

Лесные насаждения незаменимы при создании водоохраных зон вдоль гидрографической сети, защите оросительных каналов во время пыльных бурь. Узкорядные лесные полосы на орошаемых землях уменьшают скорость ветра, снижают потери воды от испарения, предохраняют почвы от заболачивания. Правильно созданная система лесных насаждений в сочетании с лесолуговым освоением балочных и склоновых земель – активный регулятор экологического равновесия. Защитные насаждения и перелески, являясь гармоничной и естественной средой обитания, не только обеспечивают существование различных живых существ, но и способствуют биологической регенерации прилегающих земель (пашни, сенокосно-пастбищных угодий), находящихся в хозяйственном обороте. При сетевом распределении компенсирующих участков (лесные насаждения, живые изгороди, отдельно стоящие деревья и их группы) их площадь должна составлять ориентировочно не менее 5% полезной площади сельскохозяйственных угодий. Мелкие природоохранные объекты ремизного назначения способствуют повышению устойчивости агроэкосистем за счет обитающих здесь млекопитающих, птиц, растений, насекомых. Одного ремиза площадью 0,5-1,0 га достаточно для биологической защиты и опыления агроценозов на площади 1500 га. Кроме того, лесные насаждения выполняют важные социальные функции, устраняя дискомфортность среды, образуя рекреационные зоны, особенно в сочетании с водными объектами, способствуют закреплению трудовых ресурсов в земледельческих районах.

С развитием автомобильного транспорта все большее значение лесные полосы приобретают при защите сельскохозяйственных угодий от загрязнения тяжелыми металлами (А.Н.Каштанов и др., 1994). Немаловажные функции выполняют пылезащитные, шумозащитные и маскировочные (для скрывания неэстетичных участков) лесные насаждения. Внутренняя структура, подбор и расположение деревьев, кустарников и

травяного покрова должны определяться их назначением. Существуют определенные профили защитных насаждений.

Следует помнить, что лесные полосы могут оказывать как положительное, так и отрицательное влияние на численность и вредоносность насекомых. Иногда они становятся резерватами опасных вредителей и одновременно служат накопителями богатейшей полезной энтомофауны. Установлено, что полезащитные лесные полосы могут выполнять в агроландшафте роль биокоридоров и убежищ, дающих возможность выжить даже тем видам, которые первоначально существовали лишь в лесной среде. В облесенной местности численность полезных энтомофагов увеличивается на 30-50%.

В лесоаграрных ландшафтных системах энтомофаги снижают численность фитофагов. При территориальной организации агроландшафтов важно учитывать, что увеличение полезной фауны, уменьшающей численность многих вредителей, может происходить за счет диффузии ее из естественных, особенно луговых, ценозов.

В культурных ценозах обедненность видового состава фитофагов и энтомофагов способствует увеличению численности определенных видов, поэтому вредная энтомофауна в них резко доминирует несколькими видами. В лесоаграрных ландшафтных системах на сельскохозяйственных культурах общая численность фитофагов в 1,4-3 раза меньше, чем на открытых посевах. Причину неравномерности распределения вредителей многие исследователи видят в характере микроклимата защищенного поля. Так, в заветренной шлейфовой зоне (5Н) очагов расселения шведской мухи в 2 раза, а жука-кузьки в 2-5 раз больше, чем на межполосном поле. Наоборот, вредная черепашка, которой присущи черты ксерофитности, заселяет отдаленные, лучше освещенные и прогреваемые участки посевов. Обладая хорошей миграционной способностью, данные вредители подстраиваются даже под суточную динамику микроклимата.

Исследования Е.Г.Котляровой и А.Б.Лаптиева (2009) показали, что в количественном отношении насекомых в поле больше, чем в лесной полосе на 37%. Тоже характерно для фитофагов – на 57%. Тогда как энтомофагов в лесной полосе больше на 76%, чем в межполосном пространстве. Численность энтомокомплекса южной опушки, в среднем, в три раза больше, чем на северной опушке и внутри лесополос. Но на южном склоне эта разница уменьшается до 1,7-1,8 раза, тогда как на северном она более существенна (в 5-6 раз). Такое распределение характерно и для фитофагов: южный склон – 1,5, северный – 6-6,5 раза. Соотношение энтомофаг: фитофаг намного выше (в 2,6 раза) в лесной полосе, чем в межполосном пространстве. В лесной полосе это соотношение 1:8, а на поле – 1: 21. Соотношение энтомофаг: фитофаг для лесополос на южном склоне в 4,8 раза выше, чем на северном. На склонах южной экспозиции складываются наиболее благоприятные условия для естественного регулирования численности вредных организмов. Соотношение полезных видов и вредных по разным частям поля

показывает, что оно ниже в центре поля, чем в шлейфовых зонах. Около лесных полос складываются лучшие условия естественного контроля численности популяций вредителей.

Исследования (С.В.Карлащук, В.П.Федоренко, 2004) показали, что роль экотонов (зон перехода от одного биотопа к другому) в пространственном размещении насекомых незначительна. Наибольшая численность насекомых наблюдается на участках между лесополосами и полями. Их группировки на таких экотонах характеризуются значительным разнообразием. Структура видового состава энтомокомплексов экотонов представлена в табл.2.62. Доля жуков достигает максимального значения в экотонах типа «посевы/посевы»,

**Таблица 2.62.** Соотношение рядов насекомых (%) на экотонах лесостепи БНИСС 2002-2003 гг. (С.В.Карлащук, В.П.Федоренко, 2004)

Биотопы	Твердокрылые Coleoptera	Клопы Hemiptera	Перепон- чатокрылые Hymenoptera	Двукрылые Diptera	Равнокрылые Homoptera
Яровая пшеница- залежь	27,67	26,78	8,92	26,78	9,82
Яровая пшеница- лесополоса	27,69	26,15	13,84	23,07	9,23
Ячмень- лесополоса	31,08	16,21	22,97	24,32	5,40
Рожь- семенники сахарной свеклы	28,94	22,36	19,73	21,05	7,89
Яровая пшеница сорняки	26,19	4,28	14,28	28,57	23,81
Рожь сорняки	27,58	10,34	10,34	34,48	17,24
Лесополоса- гороховое поле	21,87	28,12	21,87	18,75	9,37
Ячмень сахарная свекла	30	30	13,33	13,33	13,33
Яровая пшеница- сахарная свекла	23,33	23,33	10	23,33	20
Рожь- сахарная свекла	35,29	20,58	5,88	26,47	11,76
Сорняки- яровая вика	23,07	12,82	10,25	38,46	15,38

здесь доминируют те же виды, что и на полях. Фауна жуков наиболее разнообразна в экотонах «природный экотон/посевы». Клопов меньше на засоренных сорняками границах полей. В среднем, разнообразие всех насекомых кроме клопов на экотонах ниже, чем в природных ценозах. Среди экотонов наибольшим разнообразием насекомых отличается экотон «луговой биотоп/ посевы культурных растений». Тенденции неравномерного распределения энтомофауны можно рассмотреть при анализе патогенной микрофлоры – возбудителей заболеваний фитоценозов. Отмечена общая закономерность снижения болезнетворной микрофлоры в ряду: луг, опушка зоны сельскохозяйственных полей. Наименьшая численность такой микрофлоры на полях с многолетними травами и гречихой, наибольшая – на зерновых культурах. Таким образом, в каждом севообороте должны быть заложены фитосанитарные ценозы, выполняющие биологическое очищение поля от инфекций.

Растения – резерваты инфекций (иногда это кострец безостый, пырей ползучий, горец птичий и др.), чаще всего оказываются в зоне смыкания лесополоса-поле, лес-луг. Однако именно оттуда перемещается наибольшее количество энтомофагов. В шлейфовых зонах лесных насаждений наблюдается повышенное развитие болезней. По мере удаленности от лесных полос зараженность чаще снижается. Этому частично способствует более продолжительный росеяной период в зоне 5Н от лесной полосы. Лесные полосы часто граничат с полевыми дорогами. И.В.Дудкин (2009) рекомендует рассматривать эти два элемента как стабильный ландшафтный комплекс и изучать его во взаимосвязи. Растительные сообщества лесных полос и примыкающих к ним полевых дорог разнообразны, их можно отнести к разным типам растительности: сорной, опушечной, лесной, луговой, степной и т.п. Для лесополос с малой рядностью и относительно небольшим возрастом насаждений условия, создающиеся внутри насаждений благоприятны для произрастания большинства видов, в том числе и сорных. На полевой дороге самой низкой видовой насыщенностью характеризуется место прохода колес (колея). Здесь (И.В.Дудкин, 2009, Курская обл.) обнаружено 19 видов растений, большинство из них представлено единичными экземплярами. Хорошо переносят неблагоприятные условия и стабильно присутствуют в данном фитоценозе горец птичий, просвирник пренебреженный, подорожник большой, вьюнок полевой и пырей ползучий. Доля горца птичьего в общем количестве растений бывает очень велика, достигая 90-95%. Щирица запрокинутая менее устойчива к уплотнению почвы, она держится ближе к середине дороги или растет на обочинах, где ее бывает очень много. Средняя засоренность участка исследуемой дороги между проходами колес составляла 725 растений на 1 м<sup>2</sup>, из которых щирицы запрокинутой насчитывалось 629 шт./м<sup>2</sup>, горца птичьего – 57 шт./м<sup>2</sup>, просвирника пренебреженного – 17 шт./м<sup>2</sup>. Растений других видов было небольшое количество. На всех изученных местообитаниях (лесная полоса, опушка лесной полосы, полевая дорога) выявлено 7 видов, устойчиво

произрастающих на них: бодяк полевой, вероника дубровная, вьюнок полевой, одуванчик лекарственный, подорожник большой, полынь обыкновенная и ромашка непахучая. Также широкое распространение имели следующие более пластичные к условиям среды виды: горец птичий, горчица полевая, кострец безосный, лапчатка серебристая, латук дикий, марь белая, осот полевой, подмаренник цепкий, полынь горькая, просвирник пренебреженный, пырей ползучий, щирица запрокинутая. Полевые дороги выступают в качестве коридоров, по которым распространяется сорная растительность на поля, особенно вредя пропашным культурам.

Существуют и другие негативные особенности, связанные с лесонасаждениями. Как правило, лесные полосы приходится размещать на пахотных землях, уменьшая их площадь на 1,5-3%. Однако существующая структура лесных насаждений далека от совершенства. Так, концепция обязательного расположения лесных полос перпендикулярно господствующим ветрам привела к появлению посадок, способствующих увеличению склонового стока. Создание по контурам оврагов приовражных лесных насаждений сокращает площадь пахотных земель до 3,5%, хотя при этом отмечены случаи продолжения развития оврагов из-за не комплексного подхода и создания в вершине роста оврагов насаждений такой же мощности, как и на склонах. Повсеместно водоохранные лесные полосы делают равной ширины, как в низинах, так и на возвышенных участках, где водный поток отсутствует, что неверно.

Один из существенных недостатков лесных полос – неравномерность их распределения по агрометеорологическим и агрономическим условиям: неравномерность увлажнения межполосных пространств, распределения снега и жидких осадков, испарения, неравномерность созревания почвы, а, следовательно, и различия по оптимальным срокам посева. Сказывается также разница в высоте, густоте посевов и сроках созревания культур, а также урожайности. Все это приводит к определенным трудностям при проведении сельскохозяйственных работ.

Неоднородные агроклиматические условия среды на приопушечных участках пашни, где отмечается угнетенность светолюбивых сельскохозяйственных культур, и остальной части межполосных пространств учитывают при ленточных посевах многолетних трав по темным сторонам лесных полос. Под покровом снежного шлейфа ленточные посева трав надежно защищены от вымерзания, а повышенная влажность способствует их росту и повышает урожайность на 15%.

Установлено (Ю.А.Корнилов, 1980 и др.), что защитные полосы разной конструкции оказывают заметное влияние на температуру воздуха в саду. При этом в садах, защищенных плотными лесными полосами, температура колеблется намного сильнее, тогда как ажурные и продуваемые полосы способствуют ее выравниванию. Весной температура воздуха в саду под защитой полос на 0,5-2 °С выше, чем в открытом поле, а летом – на 1-3 °С ниже. Наиболее заметно понижается температура



воздуха летом в саду, защищенном полосой ажурной конструкции. Более умеренный температурный режим способствует формированию полноценного урожая плодов, уменьшает их осыпаемость. В садах, защищенных лесными полосами, интенсивность испарения по сравнению с открытым полем снижается от 10 до 34%. При этом самое меньшее количество воды испаряется под защитой ажурной полосы (на 15 и 24 % меньше, чем под защитой продуваемой и плотной конструкции полос). В засушливые периоды в садах, защищенных полосами ажурной конструкции, испарение воды на 43-44% меньше, чем в открытом поле. Под защитой полос продуваемой конструкции испарение снижается в среднем на 23-28%, плотной – на 15-16 %. Это связано с тем, что на величину испарения в сильной степени влияет скорость ветра и его структура. Под защитой полос продуваемой и плотной конструкции ветровой поток имеет большую скорость и турбулентность, чем под защитой ажурной полосы. Наиболее сильное испарение, независимо от конструкции защитных полос, наблюдается в междурядьях сада, при этом величина испарения нарастает с удалением от лесной полосы. Более резко она изменяется в садах, защищенных полосами продуваемой и плотной конструкции. В таких садах возрастание величины испарения с удалением от полосы колебалось от 0,5 до 2 мм, тогда как в садах, защищенных ажурной полосой от 0,1 до 0,5 мм. Во влажные годы различия во влиянии защитных полос разной конструкции на величину испарения сглаживаются, но и в такие годы меньшее испарение наблюдается в садах, окаймленных полосами ажурной конструкции. Весной, когда деревья находятся в безлиственном состоянии, как и летом, конструкция защитных полос влияет на относительную влажность воздуха: под влиянием ажурной полосы она повышается от 12 до 24 %; под влиянием продуваемой – от 2 до 8%; под влиянием плотной – от 6 до 12 %. При этом в садах, защищенных ажурными полосами, относительная влажность воздуха по мере удаления от лесной полосы изменяется намного меньше, чем в садах, окаймленных плотными и продуваемыми полосами. Во влажные годы относительная влажность воздуха в саду независимо от конструкции защитных полос выше, чем в открытом поле.

Защитные полосы ажурной конструкции способствуют более равномерному распределению снега, чем при плотной конструкции. Толщина снегового покрова в таких садах в 2-3 раза выше, чем в поле. Дополнительное увлажнение почвы составляет примерно 200 м<sup>3</sup>/га (Н.П.Филинова, Н.В.Варнаевская, 1980). Снижение скорости ветра в садах под защитой полос способствует уменьшению падалицы плодов, понижает температуру воздуха в самое жаркое время на 2-3 °С, почвы на 1-2°С, уменьшает интенсивность испарения влаги с поверхности почвы и транспирацию растений на 20-30%, повышает относительную влажность воздуха на 6-10%.

Оптимальный размер сада составляет в зависимости от природно-экономических условий 1000-2000 га (Б.С.Люшин, Н.М.Манжура, 1977), а

минимальная площадь сада должна быть не менее 50 га (П.Д.Попович, И.Г.Мироненко, 1980).

В загущенных посадках садов изменяется микроклимат (Г.В.Трусевич, З.И.Адамович, 1970), становится более мягким: сила ветра здесь значительно ниже, чем в разреженных посадках, влажность воздуха выше. Однако влажность почвы в отдельные периоды, особенно во второй половине лета ниже. Но урожай, как правило, выше.

Растения, выращиваемые в междурядьях виноградников не оказывают отрицательного влияния на виноградные кусты, наоборот, приживаемость кустов выше на 6-10%, рост надземной части (побегов и пасынков) на 2,5-72,8% и рост корней на 2,4-46,2% выше, чем в контроле, т.к. однолетние культуры орошались и удобрялись (Г.Баширов, 1970). При выращивании пропашных культур в междурядьях виноградников необходимо соблюдать следующие условия: культивировать только ранние и средние сорта с тем, чтобы работы по их выращиванию были закончены к началу сентября.

По (В.В.Капогузов, 1970) на песчаных почвах на богаре в междурядьях сада нельзя выращивать культуры весеннего срока посева, т.к. они поглощают влагу и питательные вещества, удовлетворительные результаты получены только для озимой ржи.

В зависимости от рельефа местности изменяется степень поврежденности деревьев заморозками. Так, по (Т.Чеботарева, 1970) подмерзание вишни минимально, в нижней – максимально, в отдельные зимы могут погибнуть все деревья, особенно опасны зимы с частыми оттепелями. В средней части склона подмерзание больше, чем в верхней, но меньше, чем в ложине. У основной части деревьев наблюдается «поясное подмерзание»: ветви, находящиеся под снегом и растущие в верхней части кроны, сохранились, а расположенные на 60-90 см выше линии снега сильно подмерзли. Тоже отмечается и для яблоневых садов (А.М.Иванов, 1981), отмечается также неблагоприятное влияние на плодовые деревья застоя холодного воздуха. Наличие на поле замкнутых ложин и западин отрицательно сказывается на плодоношении и сроке жизни яблонь, т.к. в них застаивается холодный воздух.

По (С.Н.Хабаров, Г.И.Субботин, 1980) в 9-27м от лесополосы наблюдается выпревание деревьев вишни, т.к. тут задерживается больше снега. Поэтому эту часть сада целесообразно использовать под возделывание черной смородины, которая благоприятно относится к повышенной высоте снега.

По Н.И.Семенову (1981) если нельзя обеспечить продолжительную продуктивную жизнь сада (из-за характера почв и количества выпадающих осадков) то следует создавать более плотные посадки, что позволяет за менее продолжительный период эксплуатации сада (15-20 лет) получить большой экономический эффект.

При планировании лесонасаждений не учитывают их продуктивность, возможный сбор даров леса (грибов, ягод, орехов),

создание потенциальных резерватов для дикой фауны и др. Здесь сказываются отраслевой подход, отголоски экстенсивного пути развития, когда площади лесопосадок являлись основными критериями оценок данного вида хозяйственной деятельности. Кроме того, лесные насаждения чаще всего располагают не по границам разных природно-территориальных комплексов. В то же время они формируют стабильные рубежи агроландшафтных систем с разнородной структурой, что препятствует более прогрессивной землеустроительной деятельности (А.Н.Каштанов и др., 1994).

Весенняя и раннелетняя засухи, часто снижают продуктивность не только естественно произрастающих, но и сеяных трав. Тогда как в условиях жары и низкой относительной влажности воздуха кустарники, наоборот имеют наибольший прирост (М.М.Тимофеев, 2005), вероятно за счет использования влаги глубинных слоев. В степи даже при благоприятной весне естественные пастбища в июне выгорают. Если увеличить в два раза площадь сенокосов и пастбищ за счет низкоплодородных и деградированных пахотных земель, то ограниченность во времени их использования будет тормозить становление высокопродуктивного и высокорентабельного пастбищного животноводства. Поэтому внедрение дендрокормовых культур, способных сохранять зеленую биомассу до глубокой осени – важное условие улучшения кормовой базы животноводства в засушливом климате.

К некоторым видам дендрокормовых культур (для коз и КРС), которые хорошо возобновляются порослью от пня, относятся береза, вяз, ива, клен, липа, рябина, тополь, шелковица, ясень. Некоторые древесно-кустарниковые породы нельзя использовать на корм из-за их токсичности. Это листья таких растений как бересклет, бузина, бук, крушина, лавровишня, маслина, миндаль, ольха, персик, раkitник, черемуха. Дендрокормовые угодья имеют несколько назначений – как пастбище, как кормовые культуры на силос и непосредственного кормления стадных животных, а также для предупреждения эрозионных процессов.

Для прекращения эрозионных процессов в садах часто рекомендуют применять залужение. Однако хоть эрозионные процессы в этом случае замедляются или прекращаются полностью в залуженном саду при заморозках температура в приземном слое ниже в среднем на 5-7 °С (максимум на 10-11 °С) в кроне на высоте 1 м – в среднем на 0,8-1,2 °С (максимум на 2-2,5 °С). Наибольшая разница наблюдается в тихую ясную погоду. Заморозки при залужении усиливаются вследствие того, что почва, основной теплоноситель, изолируется от воздуха слоем растительных остатков и травостоем. Травостой имеет огромную излучающую поверхность и это обуславливает интенсивное радиационное охлаждение территории. Усиление заморозков при задернении губит урожай плодов. Поэтому рекомендуется проводить полосное залужение междурядий в садах (А.Д.Бобнев, 1980).

Е.В.Николаев с соавторами (2007), исследовав вклад основных элементов урожая в компенсацию потерь от снижения количества растений на единице площади, установили, что в среднем компенсируется лишь 68,4% потерь от недостаточной густоты растений, а 31,6% составляют невосполнимые потери. Компенсация за счет продуктивного кущения (48,6%) значительно сильнее, чем за счет продуктивности колоса (20,8%).

Избыточно густой посев (свыше 370 раст./м<sup>2</sup>) формирует высокий урожай надземной массы (Е.В.Николаев и др., 2007). Однако обострение внутривидовой конкуренции ведет к удлинению и ослаблению побегов ячменного растения, вызывая значительное полегание посевов (табл.2.63). В зоне оптимальных густот (240-340 шт./м<sup>2</sup>) достигается наиболее благоприятный уровень конкурентных отношений, растения обладают достаточной устойчивостью к полеганию.

**Таблица 2.63.** Параметры густоты растений озимого ячменя для посевов с различной продуктивностью (Е.В.Николаев и др., 2007)

Параметры посева	Урожайность, т/га	Густота растений, шт./м <sup>2</sup>	Реализация потенциала продуктивности, %	Полегание посева, %
Избыточно густой	5,17±0,37	> 370	100	70
Субоптимально загущенный	5,02±0,19	340-370	100-98	30-60
Оптимальный	4,96±0,16	240-340	98-90	Отсутствует
Субоптимально изреженный	4,65±0,16	160-240	95-90	
Среднеизреженный	4,33±0,19	130-160	90-81	
Сильноизреженный	4,00±0,26	100-130	81-62	
Редкий	3,51±0,24	70-100	62-32	

При возделывании озимого ячменя необходимо использовать сорта двух-трех биотипов, различающихся между собой длиной вегетационного периода (Е.В.Николаев и др., 2007). При этом в условиях ранней весны и быстрого наступления засушливого периода – в конце мая – начале июня существенные преимущества будут иметь раннеспелые сорта, благодаря своему сравнительно короткому вегетационному периоду. Такие сорта формируют урожай в основном за счет зимне-весенних запасов почвенной влаги и в меньшей степени зависят от неустойчивых по годам поздне-весенних и летних осадков. А в годы с погодными условиями, близкими к средним многолетним, на фоне достаточного количества осадков в конце мая – начале июня, максимальный урожай сформируют сорта с более длительным периодом вегетации

Под влиянием агрометеорологических условий, смены густоты растений и внесения удобрений урожай фитомассы сладкого перца и баклажанов колеблется от 27,1 до 37 ц/га, в том числе плодов – 10,5-18,4 ц/га при густоте до 80 тыс. растений/га (табл.2.64). Повышение доз удобрений и густоты растений до 100 тыс.растений/га сладкого перца,

баклажан и томатов при оптимальном увлажнении позволяет получить максимальный урожай сухой фитомассы 92 ц/га, а урожай плодов – 416 ц/га (Л.Ю.Божко, 2007).

**Таблица 2.64.** Урожай сухой массы среднеспелых сортов овощных культур (среднее за 3 года, 1994-1996 гг.) при влагообеспеченности 80% НПВ (Л.Ю.Божко, 2007)

Культура	Густота посевов, тыс.растений/га	Масса растений, ц/га	В том числе плоды, ц/га
Баклажаны	80	37,7	15,7
	100	40,2	15,7
	120	43,2	17,3
Огурцы	80	28,4	10,8
	100	34,0	12,6
	120	32,7	12,1
Сладкий перец	80	44,5	19,1
	100	50,6	20,6
	120	53,2	21,4
Капуста	80	36,1	11,2
	100	42,7	12,4
	120	41,4	12,0
Томаты	55	40,1	20,6
	70	41,0	20,5
	90	43,2	20,3

Сорго алепское имея большую наземную массу и мощную корневую систему, способно в полевых условиях вытеснять другие сорняки, угнетать полевые культуры и отрицательно влиять на рост и развитие многолетних насаждений, что приводит к уменьшению количества и качества урожая. Высокая вредоносность сорго алепского обусловлена также и его аллопатическими свойствами. Экстракты из листьев и корневищ растения угнетают прорастание и развитие некоторых культур, в том числе и сои, клевера, ячменя, пшеницы (Ю.Е.Клечковський, Н.Т.Могилюк, Г.Ф.Чебановская, 2012).

Экологическую оценку сельскохозяйственных ландшафтов предлагается оценивать по соотношению пашни (Р) к суммарной площади экостабилизирующих угодий (ЭСУ – леса, луга, болота, водные объекты) (М.В.Козлов и др., 2004). Степень нарушения экологического равновесия в реальном соотношении Р:ЭСУ определяется при помощи модифицированной шкалы, которая дает возможность просто и с высокой степенью точности оценить экологическое состояние агроландшафтов в широком диапазоне: от оптимальных параметров пропорции Р:ЭСУ (<20:>80%) свойственных эталонным ландшафтам, до абсолютно недопустимых (>70:<30%), соответствующих катастрофическому состоянию земель (табл.2.65).

Относительный вес показателей рассчитывается в процентах от суммарной площади пахотных земель и экологостабилизирующих угодий по следующим формулам:

$$P = \frac{P_n}{P_n + П + ЛП + Л_c + Б + В} \cdot 100,$$

**Таблица 2.65.** Модифицированная шкала для оценки экологического состояния агроландшафтов (М.В.Козлов и др., 2004)

Тип агроландшафтной территории	Относительный вес угодий, % к их суммарной площади		Экологическое состояние
	Р	ЭСУ	
0	<20	>80	оптимальный
I	20-37	63-80	удовлетворительный
II	37-54	46-63	критический
III	54-70	30-46	кризисный
IV	>70	<30	катастрофический

где Р – относительный вес пашни в группе угодий "пашня-лес-луг и пастбища – вода",%;  $P_n$  – площадь пашни, га; П – площадь залежи, га; ЛП – площадь лугов и пастбищ, га;  $L_c$  – площадь, покрытая лесом, га; Б – площадь болот, га; В – площадь водных объектов, га.

$$ЭСУ = \frac{П + ЛП + Л_c + Б + В}{P_n + П + ЛП + Л_c + Б + В} \cdot 100$$

где ЭСУ – относительный вес экологостабилизирующих угодий в группе угодий «пашня-лес-луга и пастбища-вода»,%.

## Глава 3. БАЛАНСОВЫЕ ВЗАИМОСВЯЗИ В ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

### 3.1. Радиационный баланс

Радиационный баланс подстилающей поверхности представляет собой разность между приходом и расходом лучистой энергии, т.е. он равен количеству поглощенной подстилающей поверхностью энергии. Классически уравнение радиационного баланса (В) представляют следующим образом (В.К.Моргунов, 2005, Ю.А.Скляр и др., 2009 и др.):

$$B = S + D + E_a - R_k - R_d - E_z, \text{ кВт/м}^2,$$

где  $S$  – прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м<sup>2</sup>;  $D$  – рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность, кВт/м<sup>2</sup>;  $E_a$  – встречное излучение атмосферы (длинноволновое излучение атмосферы, направленное в сторону подстилающей поверхности), кВт/м<sup>2</sup>;  $R_k$  – коротковолновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м<sup>2</sup>;  $R_d$  – длинноволновая радиация, отраженная от подстилающей поверхности, кВт/м<sup>2</sup>;  $E_z$  – длинноволновое излучение подстилающей поверхности, кВт/м<sup>2</sup>.

Суммарная радиация  $Q$  представляется как:

$$Q = S + D,$$

а коротковолновая и эффективная радиация:

$$R_k = Q A_k; E_{\text{эф}} = E_z - E_a,$$

где  $A_k$  – альbedo-отражательная способность подстилающей поверхности, зависит от ее физических свойств, цвета, состояния, выражается в долях единицы или процентах. Для свежеснежного покрова  $A_k = 80-95\%$ , для темных почв  $A_k = 5-10\%$ ,  $E_{\text{эф}}$  – эффективное излучение подстилающей поверхности.

Радиационный баланс подстилающей поверхности может быть положительным и отрицательным. В суточном ходе переход от положительных значений к отрицательным или обратно наблюдается при высотах солнца 10-15°. Ночью приток суммарной солнечной радиации равен 0, поэтому баланс отрицательный, происходит радиационное выхолаживание подстилающей поверхности.

Радиационный баланс посевов овощных культур может быть записан в виде (Л.Е.Божко, 2007):

$$R = S' + D - r_k + E_a - E_3 - r_q,$$

где  $S'$  и  $D$  – прямая и рассеянная радиация, поступающая на деятельную поверхность;  $r_k$  – отраженная коротковолновая солнечная радиация от деятельной поверхности;  $E_a$  – излучение атмосферы, направленное к деятельной поверхности;  $E_3$  – излучение деятельной поверхности, направленное в атмосферу;  $r_q$  – отраженная длинноволновая радиация.

Как правило, отраженная длинноволновая радиация незначительна и этой величиной пренебрегают, а величину отраженной коротковолновой радиации оценивают отражательной способностью деятельной поверхности, т.е. альbedo ( $A_k$ ), тогда:

$$R = (S' + D)(1 - A_k) - \sigma E_a - E_3,$$

где  $\sigma$  – поглотительная способность деятельной поверхности.

Прямая солнечная радиация ( $S'$ ) во все фазы развития овощных культур является наиболее существенной составляющей радиационного баланса в течение всей вегетации и имеет дневной максимум между 11 и 12 часами (Л.Е.Божко, 2007). Для Одесской области за вегетационный период максимальное значение  $S' = 5,36 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> наблюдалось в период массового цветения (конец июня).

Прямая солнечная радиация является наиболее изменчивой характеристикой радиационного режима. Её пространственная и временная изменчивость связана с колебанием физического состояния атмосферы, что в свою очередь зависит от совокупного действия природных и антропогенных факторов. В основном, приход солнечной радиации на земную поверхность зависит от солнечной активности, вулканической деятельности и антропогенного фактора. Исследования Л.В.Дмитренко (2002) показали, что вклад солнечной активности в изменчивость солнечной радиации незначительный, зависимости между этими факторами не выявлено, он нивелируется направленным влиянием геоактивности (влиянием земной атмосферы). Сравнение хронологии изменений прямой солнечной радиации и характеристик вулканических извержений показывает, что резкое понижение прозрачности атмосферы вследствие увеличения стратосферного аэрозольного слоя вызывает уменьшение интенсивности прямой солнечной радиации. В результате возникают короткопериодические колебания прямой солнечной радиации, изменения которой в отдельные годы достигают 15-20% и имеют планетарный характер. Влияние антропогенного фактора формирует устойчивый отрицательный тренд векового хода прямой радиации. Локальное загрязнение атмосферы в промышленных городах оказывает большее ослабление прямой радиации, поскольку в городах происходит процесс накопления в атмосфере аэрозоля антропогенного происхождения (Л.В.Дмитренко, 2002).

Оценка пропускания  $S'$  растительностью ( $a_s$ ) может быть проведена по формуле Ю.Росса и Т.Нильсона:

$$a_s = \exp[-G(h_o)L\sin(h_o)],$$

где  $G(h_o)$  – эффективная проекция единицы площади фотоэлементов на поверхность, перпендикулярную солнечным лучам.

Эта функция существенно зависит от структуры посева и, прежде всего, от ориентации листьев. В посевах овощных культур 2/3 листьев расположены в верхнем слое. Посевы овощных культур горизонтально неоднородны, что влияет на величину  $a_s$ . Исследования (Л.Е.Божко, 2007) показали, что ход  $a_s$  в начальные фазы развития растений имеет существенную асимметрию, которая усиливается по мере роста растений и её проявление зависит от ориентации рядов растений относительно сторон света. Ослабление радиации в посевах овощных культур существенно зависит от высоты растений, надземной фитомассы и площади листьев.



Посевы сладкого перца в большей степени ослабляют прохождение радиации, чем посевы томатов, посевы баклажан занимают промежуточное положение между этими культурами.

Рассеянная радиация ( $D$ ) имеет незначительный максимум между 14 и 15 часами и составляет в среднем  $1,26-1,60 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> в июне и  $0,91 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> в августе (Л.Е.Божко, 2007).

Разность между прямой и рассеянной радиацией на поле с растениями баклажан, сладких перцев, томатов и метеорологической площадкой составляет в среднем  $0,14-0,18 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>.

Суммарная радиация  $Q$  является основной приходной частью радиационного баланса и в часы с максимальными значениями  $7,33-8,01 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> изменяется незначительно, уменьшаясь от высадки рассады в грунт до технической спелости.

Пропускание суммарной радиации ( $a_t$ ) растительным покровом определяется закономерностями коэффициентов пропускания прямой и рассеянной радиации и рассчитывается по формуле:

$$a_t = 1/L + cL/\sin(h_o),$$

где  $c$  – коэффициент, изменяющийся в зависимости от высоты солнца. При однородном посеве и при расположении листьев  $L$  на высоте  $2/3$  высоты растений значение коэффициента пропускания составляет от 0,8 до 0,9 для томатов и 0,6-0,8 – баклажан и перца.

Дневной ход отраженной коротковолновой радиации ( $r_k$ ) аналогичен ходу прямой солнечной радиации и составляет после высадки рассады в почву  $1,04-1,05 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>, в период цветения  $0,96-1,19 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> для всех рассматриваемых культур. Значение  $r_k$  на полях с культурами ниже, чем на метеорологической площадке. Наибольшее значение  $r_k$  наблюдается в период максимального прироста листовой поверхности растений (техническая спелость).

Альbedo ( $A_k$ ) полей с овощными культурами зависит от возраста растений и определяется отражательной способностью деятельной поверхности. После высадки рассады в почву отражение происходит в основном от поверхности почвы и составляет около 13%. По мере развития растений величина альbedo возрастает и в фазе технической спелости достигает значений 24-26% на полях сладких перцев, 23-24% на полях баклажан, и 21-22% на полях томатов. После технической спелости альbedo на всех культур изменяется незначительно. На метеорологической площадке альbedo практически постоянно.

Кроме коротковолнового потока в виде прямой и рассеянной радиации к деятельной поверхности поступает длинноволновая лучистая энергия от излучения атмосферы. Основными факторами, определяющими длинноволновое излучение атмосферы, являются изменения температуры и влажности воздуха с высотой. В суточном ходе излучение атмосферы на метеорологической площадке выше, чем на полях с овощными культурами. Наибольшая разница между максимумом и минимумом наблюдается спустя две недели после высадки рассады в грунт. По мере

развития растений она уменьшается и к технической спелости составляет от  $0,07 \cdot 10^{-2}$  до  $0,13 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup> (Л.Е.Божко, 2007).

Суточный ход излучения деятельной поверхности ( $E_3$ ) полей овощных культур существенно отличается от суточного хода  $E_3$  на метеорологической площадке. На метеорологической площадке  $E_3$  выше, чем на поле, имеет четко выраженный минимум к восходу солнца и максимум после полудня. Наибольшая разница между значениями  $E_3$  на метеорологической площадке и на посевах овощных культур наблюдается в 13 часов и составляет  $1,74-1,88 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. В ночное время  $E_3$  на полях с овощными культурами выше на  $0,07 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. Особенно увеличивается разница после полива.

Длинноволновой радиационный баланс ( $r_q$ ) имеет более высокие значения на полях с овощными культурами по сравнению с метеорологической площадкой. Максимальных значений он достигает в послеполуденные часы в период массового цветения. Амплитуда колебаний суточного хода  $r_q$  на полях с овощными культурами составляет  $0,42 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>, на метеорологической площадке она равна  $1,79 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. Наименьшие значения амплитуды на полях наблюдаются в первые дни после поливов. Амплитуда колебаний суточного хода длинноволнового радиационного баланса на полях с овощными культурами увеличивается по мере удаления от даты полива и перед очередным поливом достигает значений  $0,97-1,11 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. На суточный ход амплитуды также значительное влияние оказывает разница температур деятельной поверхности полей с овощными культурами и метеорологической площадки.

Суточный ход радиационного баланса  $R$  отчетливо выражен и на участках с овощными культурами и на метеорологической площадке. Максимальное значение  $R$  наблюдается около полудня, минимум – после захода солнца в период массового цветения ( $7,74-7,79 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>). Ночные значения радиационного баланса определяются, в основном, эффективным излучением и зависят от температуры деятельной поверхности, облачности и стратификации атмосферы. В среднем ночью радиационный баланс колеблется в пределах  $-0,43 - -0,48 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. Максимальная суточная амплитуда наблюдается в период массового цветения и составляет на поле перца  $7,84 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>, баклажан –  $7,65 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>, томатов –  $7,63 \cdot 10^{-2}$  Вт/м<sup>2</sup>. В ночные часы значения радиационного баланса мало отличаются от его значений на метеорологической площадке и всегда имеют отрицательный знак. Переход радиационного баланса через 0 на полях с овощными культурами происходит раньше, чем на метеорологической площадке на 40 мин – 1 час (Л.Е.Божко, 2007). Значения радиационного баланса в дневные часы на полях с овощными культурами больше, чем на метеорологической площадке в течение всего периода вегетации и изменяются вслед за изменением притока радиации к деятельной поверхности.

За период вегетации (высаживание рассады в мае) приход ФАР составляет 3,1-3,5 млрд.ккал/га, в урожаях баклажанов, сладкого перца, томатов, накапливается энергия 11,02-34 млн.ккал/га, в урожае огурцов 4,5 млн. ккал/га, в урожае капусты – 36,0-40,3 млн. ккал/га использование ФАР при этом в среднем за вегетацию составляет 1,09% у баклажан и сладкого перца, 1,08% - у томатов, 1,0% - у огурцов, и 1,5-2% у капусты (Л.Е.Божко, 2007)..

Облачность нарушает ход радиационного баланса. В пасмурные дни послеполюденные значения радиационного баланса значительно ниже до полуденных. Изменяется также значение радиационного баланса под влиянием орошения.

Радиационные свойства посевов овощных культур в значительной степени зависят от фаз развития растений. По мере роста и развития растений дневные величины значений радиационного баланса уменьшаются. Радиационный баланс в слое растительности уменьшается и составляет на высоте 20 см от поверхности почвы 38-42%, на высоте 35-40 см – 45-47% общего радиационного баланса (Л.Е.Божко, 2007).

### 3.2. Тепловой баланс подстилающей поверхности

Нагрев и охлаждение подстилающей поверхности солнечной радиацией вызывает теплообмен между атмосферой и подстилающей поверхностью, более глубокими слоями суши и океана. Теплообмен принято представлять уравнением теплового баланса:

$$B = L_n M_n + P_a + P_{гр} + L_k M_k,$$

где  $L_n M_n$  – поток тепла, связанный с фазовыми преобразованиями воды (с испарением и конденсацией);  $M_n$  – масса воды, участвующая в фазовом переходе;  $L_n$  – удельная теплота парообразования (2256 кДж/кг);  $L_k M_k$  – поток тепла, связанный с фазовым переходом воды из твердого состояния в жидкое и обратно;  $M_k$  – количество воды участвующее в фазовом переходе;  $L_k$  – удельная теплота кристаллизации (335 кДж/кг);  $P_a$  – турбулентный поток тепла между подстилающей поверхностью и атмосферой;  $P_{гр}$  – поток тепла между подстилающей поверхностью и нижележащими слоями почвы или воды;  $B$  – радиационный баланс.

Тепловой баланс посевов сельскохозяйственных культур представляют следующим образом (Л.Е.Божко, 2007):

$$R = P + LE + B + \Delta,$$

где  $R$  – радиационный баланс подстилающей поверхности;  $P$  – турбулентный поток тепла;  $LE$  – затраты теплоты на испарение ( $L$  – удельная теплота парообразования;  $E$  – поток водяного пара или суммарное испарение);  $B$  – поток тепла из почвы;  $\Delta$  – тепло, расходуемое или выделяемое при биохимических процессах, происходящих в растениях или почве. Эта величина не превышает 2% от величины радиационного баланса и при расчетах ею пренебрегают.

Суммарное испарение  $E$  определялось по уравнению водного баланса (см. также раздел 3.3.3):

$$E = W_1 + X + W_2 - r_b - r_r - r_{\text{пов}},$$

где  $W_1$  и  $W_2$  – начальные и конечные за расчетный период запасы влаги (мм);  $X$  – сумма осадков за расчетный период плюс полив (мм);  $r_b$ ,  $r_r$ ,  $r_{\text{пов}}$  – составляющие вертикального, горизонтального и поверхностного стока, при хорошо спланированных полях этими составляющими пренебрегают.

Известно, что характер деятельной поверхности поля сельскохозяйственных культур изменяется по мере роста и развития растений. На него так же влияют орошение, внесение удобрений, агротехнические мероприятия. В результате изменяется структура теплового баланса деятельной поверхности.

Исследования, проведенные в период вегетации в Одесской области на полях овощных культур (Л.Е.Божко, 2007) показали, что максимальные значения турбулентного теплообмена ( $P$ ) и затрат тепла на испарение ( $LE$ ) наблюдается около полудня. После 14 часов наблюдается смена знаков потока тепла в почве ( $B$ ). Суточная сумма теплообмена по средним данным на всех полях составляет 4-5% соответствующей величины радиационного баланса. На нагревание воздуха путем турбулентного теплообмена затрачивается за сутки  $544,7 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>, что составляет 42-44% суточной суммы радиационного баланса. Отрицательные значения турбулентного потока тепла ( $P$ ), т.е. притока тепла из воздуха к деятельной поверхности, в сумме составляет 3-5% положительных значений  $P$ .

Турбулентный поток тепла используют в качестве характеристики той части поглощенной растениями радиации, которая расходуется на перегрев растений при недостатке почвенной влаги, способствует снижению интенсивности фотосинтеза и скорости накопления органического вещества (Л.Е.Божко, 2007).

Расход тепла на испарение в среднем за сутки равен  $585,6 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>, что составляет 50% радиационного баланса. При этом затраты тепла на испарение в дневные часы меньше турбулентной теплоотдачи в воздух, а в сумме за сутки обе составляющие баланса очень близки между собой. Суточная сумма теплообмена в почве ( $B$ ) по осредненным данным за три года равна 4-5% соответствующей величины радиационного баланса. В результате теплообмена за сутки деятельная поверхность посадок овощных культур получает от  $52,3 \cdot 10^4$  до  $54,4 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup> (Л.Е.Божко, 2007).

В период от цветения до последнего сбора овощных культур в величинах составляющих теплового баланса происходят изменения, особенно перед поливом и в первые дни после полива. Затраты тепла на испарение после полива увеличиваются в 1,5-2 раза, а турбулентный поток в дневные сроки уменьшается. Эта закономерность сохраняется на полях всех культур.

Существенно различаются среднесуточные значения величин теплового баланса на полях с различной густотой стояния растений, различной степенью развития растительного покрова, до и после поливов и

по сравнению с метеорологической площадкой. К моменту наступления технической спелости плодов всех культур, когда наблюдается наибольшее развитие растительного покрова, различия в величинах составляющих теплового баланса несколько сглаживаются между участками с различной густотой посадок, но остаются значительными по сравнению с метеорологической площадкой.

Различия в составляющих теплового баланса в разные межфазные периоды обусловлены в основном изменением поглотительных свойств деятельной поверхности, физических свойств почвы под влиянием орошения и биологическими процессами, происходящими в растениях под влиянием орошения.

Уменьшение дневных сумм составляющих теплового баланса по фазам развития культур от высадки рассады в почву до биологической спелости объясняется уменьшением прихода суммарной радиации и возрастанием эффективного излучения деятельной поверхности.

В качестве характеристик структуры теплового баланса растительного покрова используют соотношения между его отдельными составляющими, к примеру, соотношение  $P/R_{pp}$ , где  $R_{pp}$  – радиационный баланс растительного покрова. В первом приближении  $R_{pp}$  равен количеству поглощенной растениями ФАР. Выявлена зависимость  $P/R_{pp}$  от суммарной радиации  $Q$  и запасов продуктивной влаги  $W$ , позволившая сделать вывод, что доля турбулентного теплообмена в радиационном балансе растительного покрова тем выше, чем ниже запасы влаги в почве и чем выше приход солнечной радиации при неизменных запасах влаги.

Комплексным показателем тепло- и влагообеспеченности посевов служит соотношение Боуэна  $P/LE$ . Его используют при исследовании закономерностей зависимости компонентов внешней среды и продуктивности растений. Отношение Боуэна может служить теплобалансовым критерием оценки засушливых условий и динамическим показателем эффективности оросительных мероприятий. Основными параметрами, определяющими изменчивость соотношения Боуэна, являются состояние растительного покрова и условия влагообеспеченности. Исследование связи  $P/LE$  с относительной площадью листьев и относительными запасами продуктивной влаги показало, что доля влияния этих величин на  $P/LE$  составляет 58%, тогда как других факторов – 42%. При высоких значениях запасов продуктивной влаги (80%НВ) наблюдаются близкие к нулю и отрицательные значения  $P/LE$ . Это означает, что имеет место отрицательный турбулентный приток тепла к подстилающей поверхности. Такие условия на орошаемом поле возникают при хорошем развитии растительного покрова, на фоне высоких температур, увеличении дефицита насыщения и скорости ветра. При отсутствии или слабом развитии растительного покрова независимо от степени увлажнения почвы турбулентный обмен имеет положительный знак.

Суммарное испарение, как основная расходная составляющая теплового баланса орошаемых сельскохозяйственных полей, формируется под влиянием различных факторов: гидрогеологических, биологических, метеорологических, почвенных, хозяйственной деятельности человека. Максимальные суточные величины суммарного испарения наблюдались (Л.Е.Божко, 2007) в период от цветения до технической спелости у всех рассматриваемых культур в связи с наибольшим количеством накопившейся растительной массы и повышенным температурным режимом. Наибольшее количество потребляемой воды приходится на долю сладкого перца, наименьшее – на долю томатов, баклажаны занимают промежуточное положение между ними. Сравнение величин суммарного испарения с полей овощных культур до полива и после полива показывает, что величина суммарного испарения до полива в два, два с половиной раза ниже, чем после полива. Затем эффект орошения снижается и величина суммарного испарения через 6-7 дней достигает значений до полива. К моменту максимального развития надземной массы растений (фаза технической спелости) такого сглаживания не наблюдается вследствие увеличения транспирации растений и уменьшения испарения с поверхности почвы из-за увеличения ее затенения. Такое соотношение величины суммарного испарения сохраняется до конца вегетационного периода.

Степень благоприятности условий произрастания растений тем выше, чем меньше соотношение  $P/LE$ .

### **3.3. Водный баланс**

#### **3.3.1. Водный режим территории**

Благодаря солнечной энергии существует непрерывный замкнутый процесс обмена влагой между атмосферой и земной поверхностью. Вода с поверхности земли испаряется в атмосферу под действием солнечной радиации, где пары при определенных условиях конденсируются, образуя осадки, которые затем выпадают на земную поверхность в виде дождя, снега, града и прочее. Осадки, выпавшие на поверхность суши просачиваются в почву и питают грунтовые воды, стекают по склонам местности, образуя временные и постоянные водотоки, а другая их часть снова испаряется. Этот обмен влагой называют круговоротом воды в природе или влагооборотом.

Объемы и скорость перемещения отдельных видов воды неодинаковы. В пределах нашей планеты по обыкновению рассматривают следующие типы влагообмена:

- 1) между землей и космосом;
- 2) между атмосферой и океаном;
- 3) между океаном и сушей;
- 4) между атмосферой, почвенным покровом и биосферой.

В сумме все типы влагообмена являются незамкнутыми.

Математической моделью кругооборота воды являются уравнения водного баланса, который имеет вид:

Для Мирового океана:

$$E_o = X_o + Y,$$

где  $E_o$  – испарение с поверхности океана;  $X_o$  – осадки, что выпали на поверхность океана;  $Y$  – сток речных вод.

Для отдельного речного бассейна:

$$X = Y + П + E + T,$$

где  $X$  – осадки на поверхность бассейна;  $Y$  – поверхностный сток;  $П$  – подземный сток;  $E$  – непродуктивное испарение (с поверхности почвы и воды);  $T$  – транспирация растениями.

Для решения конкретных задач науки и практики требуется более глубокое и дифференцированное представление уравнений водного баланса. От полноты знаний о процессах формирования водного баланса во многом зависит эффективность и точность используемых в гидрологии и других науках расчетных и прогнозных методов и моделей (С.В.Долгов, Н.И.Коронкевич, 2010). Предпосылкой к дальнейшей дифференциации водного баланса служит выявляющаяся генетическая неоднородность отдельных компонентов, практическая целесообразность, наличие соответствующих данных и методов исследования, пригодных для массовых расчетов. К настоящему времени накоплен большой опыт в изучении пространственно-временной изменчивости отдельных составляющих водного баланса, особенно осадков и речного стока, в меньшей мере – его поверхностной и подземной составляющих. Согласно современным представлениям о полиструктуре, существует пять основных типов структуры водного баланса (С.В.Долгов, Н.И.Коронкевич, 2010) – элементный, территориальный, временной, факторный и качественный. Первый из них по существу представляет собой вертикальный (высотный) тип, получивший широкое распространение не только в гидрологии, но и в гидрогеологии при анализе влагообмена между элементами вертикального разреза в точке (по данным одной или нескольких близко расположенных друг от друга скважин). Другие виды структуры образуются при их сочетании и носят уже комплексный, интегральный характер, что открывает дополнительные возможности для выявления новых закономерностей формирования водного баланса, в том числе – в разные по водности и увлажненности годы. Большой интерес представляют высотно-пространственный (дифференциация элементов водного баланса по территории и ее вертикального разреза) и пространственно-временной типы (сезонная и временная изменчивость элементов водного баланса и автокорреляция между ними).

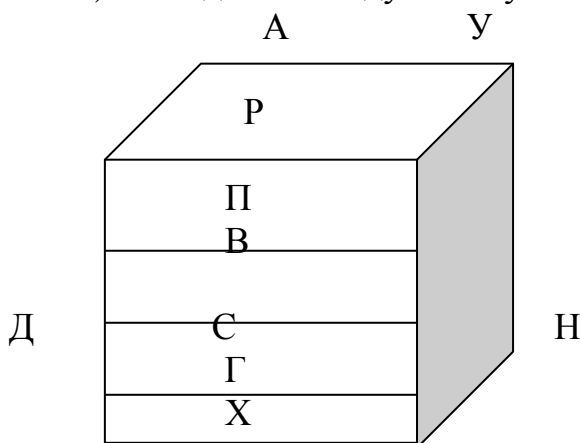
Для построения схемы распределения водного баланса конкретного ландшафта удобнее воспользоваться методами структурной алгебры:

- 1) построение сетевых графов распределения потоков воды;
- 2) их анализ с применением матричных алгоритмов

На их основе строится система ограничений и целевая функция для оптимизации водного баланса.

Рассмотрим составляющие водного баланса участка земной толщи под растительным покровом (В.Л.Анохин, 1971). Мы имеем следующие слои и составные:

- 1) Атмосфера (осадки) А;
- 2) Участок сверху по рельефу Д;
- 3) Растительность (Р);
- 4) Поверхностный слой почвы П (4-5 см);
- 5) Верхний слой почвы В (расположены неглубокие корневые системы растений);
- 6) Средний слой С (расположенные глубокие корневые системы растений);
- 7) Глубинный слой Г (породы, которые простираются к верхней капиллярной кайме водоносного горизонта (Х));
- 8) Водоносный горизонт (Х);
- 9) Участок ниже по рельефу (Н);
- 10) Выход из исследуемого участка (У).



**Рис 3.1. Схема исследуемого участка**

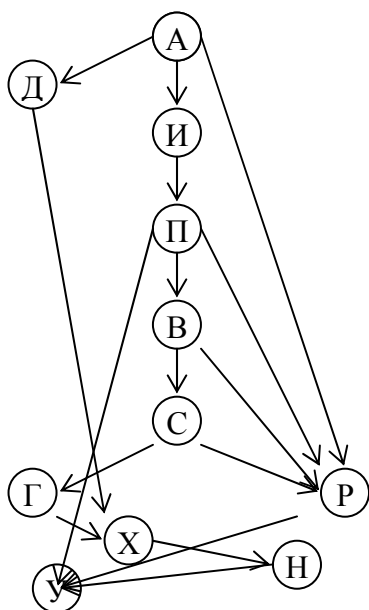
Распределение водных потоков на исследуемом участке удобно представить схематическим графом (рис.3.2). Каждая структурная категория изображена на нем колом с ее условным обозначением.

Для количественного анализа водного режима приведенный граф целесообразно представить в форме квадратной матрицы, горизонтальные строки которой и вертикальные столбцы обозначены структурными категориями (табл.3.1).

Для анализа распределения водных потоков по всем категориям в клетках, изображающих стрелки графа надо проставить величины объема воды, которая протекает по данному направлению на протяжении годового цикла.

На основе составленной матрицы, возможно, составить систему уравнений для оптимизации водного баланса территории методами





**Рис.3.2. Схема связей (граф) компонентов исследуемого участка**

**Таблица 3.1.** Схема связей на исследуемом участке в форме квадратичной матрицы

	А	Д	П	В	С	Г	Р	Х	Н	У	
А			<u>85,8</u> 85,8 <u>535</u>				<u>14,2</u> 14,2 <u>89</u>				<u>100</u> 100 <u>624</u>
Д											
П				<u>58,1</u> 49,8 <u>310</u>			<u>9,7</u> 8,3 <u>52</u>		<u>22,2</u> 19,1 <u>119</u>	<u>10,0</u> 8,6 <u>54</u>	<u>100</u> 85,8 <u>535</u>
В					<u>34,3</u> 17,1 <u>107</u>		<u>65,7</u> 32,7 <u>204</u>				<u>100</u> 49,8 <u>310</u>
С						<u>75,4</u> 12,9 <u>81</u>	<u>24,6</u> 4,2 <u>26</u>				<u>100</u> 17,1 <u>107</u>
Г								<u>100</u> 12,9 <u>81</u>			<u>100</u> 12,9 <u>81</u>
Р										<u>100</u> 59,4 <u>371</u>	<u>100</u> 59,4 <u>371</u>
Х									<u>100</u> 12,9 <u>81</u>		<u>100</u> 12,9 <u>81</u>
Н										<u>100</u> 32,0 <u>199</u>	<u>100</u> 32,0 <u>199</u>
У											
			<u>85,8</u> <u>535</u>	<u>49,8</u> <u>310</u>	<u>17,1</u> <u>107</u>	<u>12,9</u> <u>81</u>	<u>59,4</u> <u>371</u>	<u>12,9</u> <u>81</u>	<u>32,0</u> <u>200</u>	<u>100</u> <u>624</u>	

математического программирования, можно записать целевую функцию и систему ограничений в следующем виде: Целевая функция:

$$A+D-P-П-B-C-Г-X-H-Y > \min$$

Система ограничений должна включать:

$$P=0,142A+0,083Г+0,327B+0,042C;$$

$$П=0,858A;$$

$$P=0,581B+0,097Г+0,222H+0,1Y;$$

$$B=0,1Г+0,594Y+0,32H;$$

$$H=0,222Г+0,129X \text{ и т.п.}$$

**Другой пример** оптимизации водного баланса на основе методов математического программирования.

Нам необходимо определить распределение ресурсов воды на следующий год для планирования хозяйственных мероприятий. Для этого нам необходимо знать особенности взаимосвязей составляющих водного баланса территории. Так, например, для горного Крыма известно, что естественный сток (У) здесь составляет 59,4% от годового количества осадков (Х), здесь изымается в среднем 67% от естественного стока (Z). Отсюда изъятие стока составляет 40% от годового количества осадков. В море же стекает 16,5% от годового количества осадков (Р), другие 2,9% теряются на дополнительную инфильтрацию и испарение (Е). Испаряемость для метеостанции Ай-Петри составляет за год 550 мм, т.е. 48% от годового количества осадков. Т - транспирация. В результате получаем следующую целевую функцию и систему ограничений:

$$X - E - T - P - Z = Y$$

$$-0,291X + P > 0$$

$$X < X_i \text{ - переменная величина}$$

$$0,58E - 0,42T < 0$$

$$0,67X - 0,67E - 0,67T - 0,67Г - 1,67OB = 0$$

$$-0,48X + E + T > 0$$

$$-0,4X + Z < 0$$

Эта задача решается с помощью прикладных компьютерных программ.

Исходя из полученных величин распределения элементов водного баланса, можно планировать хозяйственные мероприятия при разной степени потребности их в воде, в том числе и сельскохозяйственные.

Наблюдающиеся в настоящее время процессы, связанные с изменением климата вызывают немало проблем при прогнозировании гидрометеорологических величин, они также должны повлечь за собой изменения в инженерно-гидрологических расчетах, на что указывается А.В.Рожественским и В.А. Лобановым (2003). Поэтому, одной из основных задач гидрологов в настоящих условиях является выявление влияния изменений климата на гидрологический режим водотоков.

К примеру, С.А.Кондратьевым и И.В. Бовыкиным (2003) проведены исследования влияния возможных изменений климатических параметров (осадков и температуры воздуха) на гидрологические характеристики

системы водосбор - озеро. Для оз.Красное и его водосбора проведен анализ вероятностных изменений стока, снегозапасов, увлажнения почв, уровня озера, а также выноса фосфора и органического вещества в XXI веке. Математическая модель, описывающая соотношения между климатическими параметрами и гидрологическими характеристиками использует в качестве входных данных климатические сценарии (см.раздел 4.5), рассчитанные по модели общей циркуляции атмосферы и океана и адаптированные к условиям рассматриваемого водосбора. Калибровка модели проводилась по данным 1964-1973 гг., а ее верификация по материалам 1974-1984 гг. Выявлено, что возможные климатические изменения и интенсификация землепользования на водосборе оз.Красное оказывают сопоставимое влияние на гидрологический режим. В случае использования сценариев изменения климатических параметров на больших площадях может наблюдаться скачкообразное изменение результатов расчета при переходе от периода тестирования модели к периоду прогноза. Для ликвидации данного дефекта предлагается проводить адаптацию климатических сценариев с помощью их привязки к измерениям, выполненным на конкретном объекте. В данном случае информационной основой для построения сценариев изменения климатических параметров (осадков и температуры воздуха) служат ряды среднемесячных значений температуры и месячного количества осадков, рассчитанные по данным наблюдений на оз.Красное, а также ряды этих параметров, рассчитанные по модели общей циркуляции атмосферы и океана ЕСНАМ4/ОРУС3 для условий водосбора Ладожского озера за период с 1861 по 2100 гг. Для адаптации сценариев изменения климатических параметров к условиям изучаемого водосбора были построены регрессионные уравнения, связывающие климатические параметры водосборов оз.Красное и оз.Ладожское.

По изученным сценариям развития климатических процессов ожидается потепление климата. В результате предполагаемого потепления и изменения количества осадков в 2051-2100 гг. увеличение слоя стока с изучаемого водосбора, выноса общего и минерального фосфора, а также органического вещества может составить 4-5% по сравнению с данными за период тестирования математической модели. Возможно сокращение снегозапасов на 25-28%. Изменится характер увлажнения территории. На 7-8% повысится влажность почв в осенне-зимний период, на 10-18% уменьшится увлажненность водосбора летом. Изменится внутригодовое распределение стока в результате начала весеннего половодья в более ранние сроки.

Американский исследователь R.H.Hotchkiss (2000) с соавторами составили многоуровневую систему прогнозирования изменений стока воды в бассейне реки Миссури под влиянием изменений климата. Система базируется на расчете составляющих уравнения водного баланса по существующим эмпирическим и полуэмпирическим моделям. Уравнение

водного баланса здесь используют в виде, предложенном ранее J.G.Arnold с соавторами (1998). Изменение влагозапасов здесь представляется как:

$$SW_t = SW_{t-1} + P_t - Q_t - ET_t - SP_t - QR_t$$

где  $SW_t$  - влагозапасы в почве на текущую дату;  $SW_{t-1}$  - влагозапасы в почве на предшествующую дату;  $P$  - осадки;  $Q$  - поверхностный сток;  $ET$  - эвапотранспирация;  $SP$  - просачивание или фильтрация;  $QR$  - возвратное поступление воды на поверхность с грунтовыми водами. Каждая отдельная составляющая водного баланса моделируется отдельно конкретным методом. Так, осадки вводятся по данным наблюдений либо моделируются с помощью метода Маркова, поверхностный сток моделируется по эмпирической зависимости Soil Conservation Service curve number (1972), которая учитывает тип почвы, характер землепользования, степень покрытости и влагосодержание, русловую трансформацию - вариацией объемных коэффициентов, просачивание - трансформирующая емкость сочетается с моделью стока в порах, снеготаяние - по средней температуре воздуха и температуре почвы на глубинах, возвратный подповерхностный поток (грунтовый поток) - по модели кинематической волны, подземный сток - по базисному стоку, запасам подземных вод и конденсации, потери при переходе воды - методом Lane, эвапотранспирация - методами Пенмана-Монтейса, Харгрейва или Пристли-Тейлора, сток наносов - по модифицированному Универсальному уравнению потерь почвы. При моделировании используются ежедневные данные, в том числе, и компоненты, реагирующие на изменения содержания  $CO_2$  в атмосфере (температура и осадки). Калибровку модели проводили за период с 1965 по 1989 гг., прогнозная и исходная кривая совпадают достаточно хорошо, относительная ошибка составила 6%. Моделировалось, как повышение осадков на 10%, так и их отсутствие. Был сделан вывод, что в целом модель приемлема для анализа влияния изменения климата. Основным влияющим фактором являлись осадки.

В работе В. Frakes и Z. Yu (1999) указывается, что в результате изменения климата следует ожидать увеличение локальных наводнений и общее увеличение водности гидрологического цикла, однако реакция речных систем на такие изменения сугубо специфическая. В работе было предпринято сравнение концептуальной модели расчета стока и эмпирической. Концептуальная модель с распределенными параметрами учитывала поверхностно-склоновый сток, осадки, инфильтрацию, потери осадков на бассейне и др. Эмпирическая модель основывалась на зависимости между осадками и стоком. Сравнение показало, что эмпирическая модель работала лучше концептуальной, однако разница невелика.

Польский исследователь Z. Kaczmarek (1993) на основе уравнения водного баланса также предложил модель расчета влияния изменения климата на сток в условиях Польши. Уравнение водного баланса применялось в виде:

$$S_{max} \frac{dz(t)}{dt} = P_m - R_s[z(t), \Omega_m] - R_g[z(t)] - R_b - E[z(t), \Omega_m] ,$$

где  $S_{max}$  - максимальные влагозапасы в бассейне (мм);  $z(t)=S(t)/S_{max}$  - относительные влагозапасы;  $P_m$  - эффективные осадки (мм/сут) измеренные;  $R_s[z(t), \Omega_m]$  - поверхностный сток (мм/сут);  $R_g[z(t)]$  - подземный сток (мм/сут);  $R_b$  - базисный сток, независимый от сезонных и многолетних колебаний климата (мм/сут);  $E[z(t), \Omega_m]$  - фактическое испарение (мм/сут);  $\Omega_m$  - набор климатических элементов, влияющих на запас воды. В работе подчеркивается ключевая роль влагозапасов в бассейне на изменения водного цикла, а также то, что успешное применение моделей водного баланса во многом определяется правильным выбором метода расчета потенциального испарения. Модель дает хорошие результаты, если количество стоковых лет превышает 30. Поверхностный сток определяется по разности осадков и базисного стока умноженной на функцию коэффициента стока и относительных влагозапасов в бассейне. Изменение относительных влагозапасов в бассейне рассчитывается согласно Р.А.Р.Моран (1954) на основе вероятностного подхода. Подземный сток определяется как квадрат относительных влагозапасов умноженных на коэффициент подземного стока. Для р.Просна применение модели дало положительные результаты (коэффициент корреляции для месячных значений стока составляет 0,74 для годового расхода 0,91).

### 3.3.2. Экологически допустимые объемы изъятия речного стока

В состав уравнения водного баланса входит такая составляющая как изъятие стока на хозяйственные нужды. На настоящее время единых методик по оценке экологически допустимых величин отбора воды из рек не существует. На Украине в практике водохозяйственного проектирования по санитарным критериям как гарантированные минимальные расходы воды в русле принимаются наименьшие среднемесячные (или и среднесуточные) расходы воды в маловодном году, повторяющиеся один раз в 20 лет.

Обоснование допустимых воздействий на окружающую среду – одна из важнейших задач экологии. Многоплановость таких воздействий, а также слабая изученность их влияния на реакцию среды делают задачу трудноразрешимой (В.С.Ковалевский, Д.Я.Раткович, 2003). Все это относится к оценкам допустимых антропогенных воздействий на режим поверхностных и подземных вод при определении водоотбора, как непосредственно из реки, так и из подземных горизонтов. Допустимость такого отбора может определяться экологическими и хозяйственными условиями. В последнем случае оцениваемые эксплуатационные запасы подземных вод зависят от допустимого отъема речного стока.

Среди существующих нормативов и разрабатываемых подходов к нормированию речного стока в России в настоящее время основными

являются гидрологические показатели режима и качества воды (Н.М.Новикова и др., 2005):

- 1) санитарные попуски, предусматривающие расходы воды в пределах 95% обеспеченности (что в природе наблюдается примерно 1 раз в 20 лет);
- 2) экологический сток – сток незарегулированной реки, обеспечивающий воспроизводство и функционирование водных и околотоводных экосистем;
- 3) экологический попуск – сток зарегулированной реки, обеспечивающий воспроизводство и функционирование водных и околотоводных экосистем в нижнем бьефе гидроузла;
- 4) предельно допустимое изъятие стока – максимальное количество воды, которое можно безвозвратно изъять из водного объекта, при сохранении условий воспроизводства и функционирования экосистем;
- 5) предельно допустимые концентрации загрязняющих веществ в воде (ПДК, ПДС).

Предположительно, естественный режим колебаний водности оптимален для экосистем, которые сформировались в данных условиях, и к ним приспособлены (В.С.Ковалевский, Д.Я.Раткович, 2003). Однако бытовой водный режим может не отвечать интересам человека (наводнения, водная эрозия) или сознательно нарушаться им (изъятия воды, регулирование стока в этих целях, сброс возвратных вод и др.).

Однако наличие человеческой деятельности реальное явление, то и нарушение экологических условий следует считать неизбежным. Поэтому, следует предупреждать застойные явления в водотоках; сохранять видовое разнообразие и воспроизводство флоры и фауны; обеспечивать чистоту воздушного и водного бассейнов, позволяющую их использование человеком, как для своего существования (дыхание, питьевые потребности), так и для отдыха, спорта.

Хозяйственное использование вод дает экономический эффект, поддающийся относительно достоверной оценке. В то же время поддержание необходимых экологических условий сопровождается экономическими ущербами при экологическом эффекте, который иногда не поддается денежной оценке. В большинстве же случаев эта оценка оказывается существенно меньше экономических ущербов.

Затраты государства на улучшение «качества жизни» населения и экологического состояния среды зависят от уровня его развития и экономического благополучия. По-видимому, они будут равными для регионов с различной плотностью населения, с различным рекреационным потенциалом и, несомненно, будут возрастать по мере развития экономики.

Поэтому, в принципе не могут ставиться задачи однозначного нормирования экологически допустимых изъятий стока. В каждом отдельном случае следует сопоставлять экономический эффект

намечаемых отъемов стока с тяжестью возможных экологических последствий (нарушение биоразнообразия, снижение биологической продуктивности промысловых видов рыб и водных животных; деградация эндемичных и реликтовых видов флоры и фауны; ухудшение качества вод, ограничивающее ее использование).

Необходимо во всех случаях учитывать ухудшение качества вод из-за снижения самоочищения и интенсификацию евтрофирования при уменьшении скоростей течения. Соответствующие ограничения на снижение скоростей определяются природным составом вод, поступлением биогенов, температурным режимом.

Поэтому понятие «санитарные расходы воды в реке» в общем случае оказывается бессодержательным (В.С.Ковалевский, Д.Я.Раткович, 2003). Обеспечить нормативные санитарные условия путем разбавления поступающих в реку загрязнений попусками из водохранилищ практически невозможно (из-за огромных количеств воды, обеспечивающих нужное разбавление). Последнее положение особенно справедливо для рек, половодье которых формируется талыми и дождевыми водами с сильно загрязненных территорий.

Ограничения водоотбора в долинах рек могут определяться не только минимальными расходами рек, но и снижением паводковых уровней, а ряде случаев и нарушением внутригодового хода стока. Подобные случаи могут возникать на реках, имеющих особо важное рыбохозяйственное значение.

Особое внимание следует уделить элементам экосистем, которые созданы человеком, например мелиорированным землям (орошаемым и осушаемым). По-видимому, решения о допустимых неблагоприятных воздействиях на них должны приниматься на основе результатов технико-экономических сопоставлений. Кроме того, решение о возможных изъятиях воды из данного водного источника должно приниматься специальной межведомственной комиссией. Разумеется, для ее эффективного функционирования нужны обоснованные оценки экологических последствий тех или иных намечаемых нарушений режима вод.

В соответствии с изложенным целесообразно рассматривать комплексный экологический попуск воды, гидрограф которого изменяется в зависимости от водности года и во внутригодовом разрезе. Форма гидрографа должна также учитывать предисторию: группирование маловодных лет может увеличить требования к размерам попуска от года к году такого периода.

Комплексный экологический попуск должен включать в себя кроме указанного выше попуска на санитарные цели как минимум следующие компоненты (Д.Я.Раткович, 1993):

1) нерестовый попуск для затопления нерестилищ с созданием минимально необходимых глубин и скоростей течения на них. Этот попуск должен обеспечивать длительность затопления, необходимую для нереста,

и дальнейший плавный спад уровней, чтобы мальки успели скатиться с временно затопленных площадей в реку. Ежегодное осуществление этого попуска не обязательно. Важно, чтобы перебойные годы не группировались (допустимое группирование таких лет зависит от вида нерестящихся рыб). При нескольких видах рыб, нерестовые условия для которых нужно поддерживать, принимается наиболее жесткий из критериев или «огибающих» эти требования. При формировании гидрографа нерестовых попусков на текущий год следует учитывать температурный режим и качество вод;

2) обводнительный попуск, предназначенный для затопления пойменных и дельтовых угодий, в частности заливных лугов. Очертание и продолжительность таких попусков определяются видовым составом растительных сообществ. Требования к характеристикам таких попусков не должны быть слишком жесткими, как и требования к их повторяемости) обеспеченности по числу бесперебойных лет), которая, вероятно, находится в зоне обеспеченностей 50-75%. Обводнительный попуск требуется также для питания пойменных и дельтовых озер, используемых водоплавающими птицами, в частности перелетными (для отдыха).

3) На реках аридной зоны часто возникает недопустимое осолонение вод из-за сбросов коллекторно-дренажных стоков. Соответствующие попуски оцениваются по величине, которая обеспечивает необходимое разбавление соледержащих вод. Объемы этих попусков определяются с учетом сброса осолоненных вод в специальные накопители.

4) Специфична оценка попусков, обеспечивающих вынос избытка наносов. Необходимость такой оценки возникает при отъеме существенной части стока на вышерасположенных участках рек (бесперспективна попытка бороться с осаждением наносов, вызываемым уменьшением крутизны продольного профиля вдоль реки и соответствующим уменьшением ее транспортирующей способности). Необходимость в этих попусках возникает редко, поскольку для отложения песчаных руслоформирующих фракций наносов требуется существенное сокращение скоростей течения. Илистые же неруслоформирующие фракции осаждаются лишь при снижении скоростей течения ниже 20-30 см/с.

5) Промывочные попуски воды осуществляются в многоводные годы для удаления отложившихся загрязнений. Длительность их мала (5-10 сут) при большой высоте.

Обобщенный экологический попуск представляет собой огибающую всех перечисленных попусков, учитываемых при заданной обеспеченности. Таким образом, нормируется несколько экологических попусков при увеличении задаваемой обеспеченности.

Наиболее значимые отрицательные экологические последствия водоотбора – снижение стока рек и увеличение продолжительности маловодных периодов до экологически недопустимых пределов. Чрезмерное снижение скоростей течения приводит к евтрофикации и



заращению русел, промерзанию рек зимой и пересыханию их летом, изменению гидрохимического и биологического режима и, как следствие, нарушению жизнедеятельности водных и склоновых экосистем, вплоть до их гибели, к снижению уровней грунтовых вод, обрушению берегов, осушению колодцев, созданию кризисных ситуаций в водообеспечении населения (в связи с осушением водозаборных сооружений на реках) и, наконец, к нарушению эстетического восприятия речных долин. При больших отъемах воды на орошение и сбросе коллекторно-дренажных вод в реку при сокращении ее водности возникает, как отмечено выше, угроза недопустимого осолонения и загрязнения вод.

Недопустимые необратимые изменения могут произойти лишь в экосистемах, неадаптированных к новому гидрологическому режиму (главным образом техногенному), а также при чрезмерном увеличении повторяемости неблагоприятных условий.

Как правило, в законодательствах разных стран указано, что использование водных объектов для питьевого и хозяйственно-питьевого назначения приоритетно.

Задача обоснования допустимых отъемов стока, к сожалению, полностью не решена. Связано это, прежде всего, с трудностями учета многокритериальных экологических, санитарных, гидрологических и гидрогеологических требований при водохозяйственном планировании. Предложения отечественных и зарубежных ученых обычно не находят отражения в нормативных документах или подзаконных актах. Имеется лишь указание в СНиП 2.04.02-84 на то, что обеспеченность среднемесячных расходов воды в поверхностном водисточнике должна зависеть от категории водоснабжения, насколько допустимо то или иное снижение расхода рек в маловодный период не определено. Обычно водоотбор из рек и эксплуатационные запасы подземных вод водозаборов инфильтрационного типа определяются на уровне минимального среднемесячного расхода воды обеспеченностью 95%.

С этим предложением в общем виде согласиться трудно (В.С.Ковалевский, Д.Я.Раткович, 2003), потому что при таком подходе не учитываются санитарные условия и экологически допустимый режим реки. Так, в естественных условиях среднемесячный меженный расход воды обеспеченностью 95% наблюдается в среднем 30 сут за 20 лет, а в намечаемых (проектных) условиях продолжительность его не ограничивается. Более того, экологические условия в проектном режиме могут разительно отличаться от естественных. Одна и та же обеспеченность 95% отвечает повторяемости соответствующих условий в среднем 5 раз в 100 лет. Однако экологические последствия столетней реализации стока, когда пять маловодных лет, повторяются подряд или когда критические годы наблюдаются в разбивке по одному, будут совершенно разными. Так, отсутствие нужной для нереста осетровых водности в течение одного года не будет катастрофическим для популяции: производители будут готовы к нересту в следующем году.

Отсутствие же нужных условий 2-3 года подряд приведет к утрате у производителей способности выработки половых продуктов, что повлечет за собой деградацию рыбного стада.

В практике Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых Российской Федерации условно принято допущение о возможном снижении расходов рек под влиянием работы инфильтрационных водозаборов на величину до 25% минимального среднемесячного расхода 95%-ной обеспеченности, т.е. остаточный сток в реке должен составлять более 75% минимального стока 95%-ной обеспеченности. Такое допущение необоснованно.

Б.В.Фацевский (1998) считает, что минимальный остаточный сток экологически значимых рек не может быть меньше стока 99%-ной обеспеченности. Он предлагает определять не только минимальный годовой сток, но и весь гидрограф стока, который должен быть составлен из расходов рек 99%-ной обеспеченности по каждому из месяцев внутри года. По мнению (Б.В.Фацевский, 1998), такой остаточный гидрограф позволит сохранить при водоотборе всю экосистему, т.е. водную и наземную растительность, фауну, почвы и т.д. По мнению (В.С.Ковалевский, Д.Я.Раткович, 2003) повторяемость года, в котором все месяцы имеют обеспеченность 99%, гораздо меньше 1%, на что ориентироваться нельзя. Хотя в принципе, допускаемая минимальная водность, конечно, должна быть разной по месяцам: в частности, для функционирования экосистем нужно ежегодно сохранять периоды высокой водности.

Уровень изъятия стока на хозяйственные нужды связан с понятием «экологически необходимые расходы воды» в реке. Под которым понимают такие величины расходов воды в реках, которые должны сохраняться в них при дорогих видах хозяйственной деятельности и обеспечивать процессы руслоформирования, сток взвешенных и донных наносов, воспроизводство биологических ресурсов, удовлетворительное санитарное состояние и самоочистку реки. А.В.Яцик (1997), исходя из принципа сохранения речных систем как объекта живой природы или элемента ландшафта, для определения экологически необходимых расходов воды предлагает учитывать следующие положения:

Экологически необходимые расходы воды по разработанной методике рассчитывают отдельно для конкретной реки и конкретного створа.

Каждой фазе гидрологического режима присущи соответствующие экологически необходимые расходы воды.

**Верхней** границей экологически необходимых расходов воды в реке является сток среднего по водности года (среднего по водности всех фаз гидрологического режима).

**Нижняя** граница экологически необходимых расходов воды определяется критериями, которые лимитируют существование реки как элемента ландшафта.

Качество воды определяется по нормативам рыбохозяйственного назначения.

По величине экологически необходимых расходов воды определяют объем экологического стока, который резервируется в реке при различных видах хозяйственной деятельности для сохранности способности водных систем к саморегулированию, самоочищению и самообновлению.

В основу методики определения экологически необходимых расходов воды положено использование следующих положений:

1) сохранение в речном потоке гидродинамического равновесия, при котором обеспечивается транспортирующая способность потока в отношении взвешенных и донных наносов и руслоформирование;

2) создание благоприятного водного режима для поддержки стабильной биологической производительности водных экосистем и их санитарного состояния;

3) обеспечение функционирования речных экосистем как объектов живой природы.

**Критерии**, лимитирующие величины экологически необходимых расходов воды следующие:

**1. Руслоформирующие расходы** воды ( $Q_p$ ), уровень выхода воды на пойму ( $H_p$ ) и затопление последней слоем воды 10-15 см на протяжении 5-7 суток со следующим равномерным спадом уровня.

Для определения данных показателей необходимо определить средний за водность год и руслоформирующие расходы воды  $Q_p$ . Если в наиболее многоводный месяц половодья:

$Q_{max} \geq Q_p$  и  $H_{max} > H_p$ ,

то среднемесячные расходы воды этого месяца принимаются в качестве экологически необходимых. При таких значениях расходов и уровней воды обеспечиваются транспорт взвешенных и донных наносов, промывка русла, влагозарядка почв поймы, миграция рыбы на нерест и восстановление кормов.

**2. Скоростной режим** водного потока, при котором предполагается наличие в реке незаиляющих средних скоростей ( $v_{нз} = 0,10-0,25$  м/с), скоростей при которых русло не зарастает ( $v_{зар} \geq 0,3$  м/с) и скоростей, при которых создаются наиболее благоприятные условия для развития ценных для экосистемы видов фито- и зоопланктона ( $v_{фз} = 0,5-0,6$ ). На протяжении года указанные скорости следует поддерживать в следующей последовательности:

а) зимой, в период ледостава (это преимущественно декабрь-январь), экологически необходимые расходы воды обуславливаются незаиляющей скоростью водного потока  $v_{нз} = 0,1$  м/с, обеспечивающей движение донных наносов, в феврале при поступлении стока с поверхности водосбора, который содержит значительное количество продуктов эрозии, необходимые расходы воды лимитируются незаиляющей скоростью  $v_{нз} = 0,25$  м/с;

б) весной, в марте –апреле, а на юге – в феврале-марте, экологически необходимые расходы воды определяют скоростью  $v_{фз} = 0,5-0,6$  м/с, а в мае -  $v_{зар} = 0,3$  м/с.

в) в летне-осеннюю межень экологически необходимые расходы воды обуславливаются скоростью течения потока  $v_{нз} = 0,25$  м/с, при которых в русле происходит транспорт наносов.

По критериальному значению скорости потока экологически необходимые расходы воды за отдельный месяц или сезон определяют по соответствующей зависимости расходов воды от скоростей  $Q=f(v)$ .

**3. Объем сточных вод,** содержание в них органических веществ и кислородный режим речного стока.

Минимальные расходы воды, необходимые для нейтрализации сточных вод при определенных значениях растворенного в природных водах кислорода рассчитывается по формуле Фелпса-Стритпера в модификации И.В.Гриба:

а) для зимней межени:

$$Q_{\min} = \frac{(KL_{cm} Q_p + KL_p q_{cm}) Z}{K_1 (\theta - \theta_o)} \cdot \frac{|t^o| \Delta}{n};$$

б) для летней межени

$$Q_{\min} = \frac{(KL_{cm} Q_p + KL_p q_{cm}) + K_o B}{K_1 (\theta - \theta_o)},$$

где  $q_{cm}$  – объем сточных вод, которые поступают в русло реки выше расчетного створа из локальных источников загрязнения, м<sup>3</sup>/с;  $Q$  – средние за период расходы воды в створе реки, м<sup>3</sup>/с;  $L_{cm}$  – величина БПК<sub>5</sub> сточных вод, мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>;  $L_p$  – величина БПК<sub>5</sub> речных вод;  $K$  – коэффициент биохимического потребления растворенного в воде кислорода в речных и сточных водах (для зимней межени  $K = 0,2$ , для периода открытого русла  $K=0,4$ );  $Z$  – поправочный коэффициент, учитывающий интенсивность окислительных процессов в зимний период ( $Z=0,3$ );  $K_1$  – коэффициент реайрации (для зимней межени  $K_1 = 0,1$ , для периода открытого русла  $K_1 \geq 0,3$ );  $\theta$  – фактическое содержимое в речной воде растворенного кислорода, мг/дм<sup>3</sup>;  $\theta_o$  – допустимый минимум растворенного в воде кислорода ( $\theta_o=4,0$  мг/дм<sup>3</sup>);  $|t^o|$  – среднемесячная температура воздуха (модуль) в зимнюю межень, °С;  $n$  – количество атмосферных осадков в этот период или толщина снегового покрова, см;  $\Delta$  – поправочный коэффициент размерности,  $\Delta=1$  см/°С;  $K_o$  – коэффициент потребления растворенного кислорода биомассой водорослей в темный период суток ( $K_o=0,8$  мгО<sub>2</sub>/кг·с);  $B$  – биомасса водорослей в поперечном сечении русла при определенной ширине реки и скорости течения (определяется по натурным данным), кг/м<sup>2</sup>.

Экологически допустимый объем отбора речного стока определяют как разность между нормой естественного и экологически необходимого стока. Объем последнего определяют по формуле:

$$W_{\text{эк}} = \sum_1^{12} Q_i t, \text{ м}^3,$$

где  $Q_i$  – экологически необходимые расходы воды,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $t$  – продолжительность периодов на протяжении, которых наблюдаются указанные расходы воды, с.

Расчет экологически допустимого отбора речных вод, для отдельных рек Украины, расположенных в разных естественных зонах, показал, что при условии предупреждения истощения рек и вредных для экосистем изменений допустимый отбор речного стока не должен превышать 10-25%. В табл.3.2 приведены сведения о динамике забора воды из природных источников.

**Таблица 3.2.** Динамика забора воды из природных источников для использования в России и некоторых странах СНГ, млрд.м<sup>3</sup> (А.Д.Думнов, 2008)

Страна	2000	2005	2006	2007	Последний год в % к 2000
Россия	75,9	69,31	70,6	69,6	92
Азербайджан	11,1	11,4	12,36	12,27	111
Армения	1,87	2,34	2,83	...	151
Беларусь	1,84	1,71	1,67	1,62	88
Грузия	2,01	...	...	....	...
Казахстан	19,8	24,8	21,24	22,81	115
Киргизия	8,0	7,9	8,01	8,53	107
Молдова	0,92	0,85	0,85	...	92
Таджикистан	10,7(за 1999)	...	...	...	...
Туркменистан	24,9	...	...	...	...
Украина	13,3	9,93	10,11	10,65	80

И.Ф.Карасев (2008) предложил свою режимно-экологическую номенклатуру расходов воды (табл.3.3). Ее особенностью есть то, что она относится не к отдельно взятым локальным створам, а к участкам речных потоков – звеньев речной системы фиксированного порядка. За критические расходы воды здесь принимают расходы воды, при которых происходит резкое увеличение концентрации загрязняющих веществ, вызывающее гибель ихтиофауны и в последующем ее исчезновение. В качестве руслоформирующих, выделяют только те расходы, которые соответствуют значению, осредненному за активную фазу доминирующих паводков. К качеству необходимых (кризисно-экологических) расходов принимают расходы воды, при которых средняя скорость потока становится неразмывающей.

**Таблица 3.3.** Режимно-экологическая номенклатура расходов воды, выраженных в долях от среднеголетних максимумов половодий  $Q_{\max}$ . (Приведенные коэффициенты следует рассматривать как статистически осредненные значения с возможными колебаниями в диапазоне  $\pm 15-20\%$ , характерном для гидрологических расчетов) (И.Ф.Карасев, 2008)

Порядок потока	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV
$Q_{\max}$ , М <sup>3</sup> /с	63	141	316	710	1590	3560	7950	17000	40000
Расходы воды долиноформирующие	6,9	5,70	3,83	3,60	3,27	3,0	2,70	2,45	2,19
Максимальные расходы воды доминирующего паводка	3,15	2,70	2,20	2,02	1,95	1,55	1,40	1,12	1,05
Пойменно- и берегоформирующие расходы воды	2,40	2,07	1,69	1,56	1,50	1,28	1,09	0,89	0,82
Руслформирующие расходы воды	1,65	1,43	1,16	1,08	1,05	0,90	0,78	0,64	0,52
Локально деформирующие расходы воды	0,62	0,54	0,44	0,41	0,39	0,33	0,28	0,22	0,21
Оптимально-экологические	0,71	0,77	0,89	0,91	0,92	0,93	0,96	0,97	0,99
Кризисно-экологические	0,15	0,13	0,12	0,10	0,09	0,09	0,07	0,05	0,04

С проблемой изъятия части стока из водных объектов неразрывно связано антропогенное регулирование режима речного стока. Н.М.Новиковой с соавторами (2005) выдвинуты основные экологические критерии, ограничивающие регулирование режима речного русла:

Критерий 1. Наличие элементов первичного пойменного ландшафта (осередки, побочни). Формирование первичных форм пойменного ландшафта и развитие экосистем на молодом аллювии обеспечивается, если промежуток между максимальными расходами имеет длительность не менее 3-5 лет.

Критерий 2. Устойчивое функционирование экосистем в условиях регулирования режима речного стока обеспечивается их ежегодной флуктуационной динамикой, для чего необходимо поддержание многолетней амплитуды колебания уровня грунтовых вод на уровне 70% от первоначальной естественной нормы, а сокращение объема стока не более чем на 15% от естественного уровня; поскольку устойчивое развитие естественной экотонной системы речной поймы обеспечивается сохранением заливания различных экологических уровней с разной частотой и длительностью, а также естественной амплитудой колебания уровня грунтовых вод. Экологически недопустимо сокращение внутригодовой и многолетней амплитуд колебания (стабилизации) уровня воды и глубины залегания грунтовых вод.

Критерий 3. Сохранение основного биологического разнообразия на всех уровнях его организации определяется наличием не менее 75% экосистем из общей динамической системы региона в пределах бассейнов

зарегулированных рек, а также наличием ежегодной флуктуационной изменчивости видового состава пойменных сообществ в пределах 30-40%, что обеспечивает сохранение основного спектра биологических видов и сообществ.

Критерий 4. Сохранение основного спектра биотопического разнообразия экосистем речного бассейна или наличие достаточного количества незарегулированных участков реки определенной продолжительности (как правило, не менее 100 км для крупных и средних рек), которые будут обеспечивать основной спектр видового и биотического разнообразия экосистем речного бассейна. Экологически недопустимо слияние зон воздействия каскадов ГЭС и их водохранилищ в речном бассейне – необходимы участки с «условно-естественной» (непреобразованной) речной долиной, обеспечивающие сохранение биоразнообразия и пути традиционных миграций видов через водные артерии.

### 3.3.3. Испарение

На испарение с поверхности суши в теплое полугодие расходуются главным образом почвенные воды (А.И. Будаговский, 1986), исключение составляют только акватории внутренних водоемов - озер, болот и речной сети. Испарение почвенных вод в общем случае следует рассматривать как цепь взаимосвязанных процессов движения воды и водяного пара в системе почва-растение-приземный слой воздуха. Такой вид испарения в странах СНГ принято называть суммарным, за рубежом в том же смысле используют термин эвапотранспирация. Суммарное испарение в общем случае складывается из транспирации, испарения воды почвой под пологом растительного покрова, а также воды, задержанной его поверхностью при выпадении дождей или росы.

По (В.К.Гафуров, 1984) в аридных условиях в отличие от зоны с умеренным климатом высокой испаряемости, обуславливающей расход энергии на испарение, соответствует меньшая влажность почвы, при которой заметно начинает снижаться расход влаги на испарение. При низкой интенсивности испаряемости расход влаги уменьшается при большей влажности почвы.

Согласно (Рекомендациям по расчету испарения с поверхности суши...) в зоне избыточного увлажнения, где испарение с почвы ближе к испарению с водной поверхности расчет среднего годового испарения рекомендуется проводить по уравнению М.И.Будыко (1956):

$$E = \sqrt{\frac{R_{ox}}{L} \left(1 - e^{-\frac{R_o}{xL}}\right)} th \frac{xL}{R_o}$$

где E - испарение в см/год; x - средняя годовая сумма осадков, см/год; R<sub>o</sub> - радиационный баланс для увлажненной поверхности, ккал/(см<sup>2</sup> год); L - удельная (скрытая) теплота испарения, 0,6 ккал/г.

Ошибка расчета по данному методу составляет 20%.

М.И. Бudyко также показал, что принимать в качестве испаряемости испарение с водной поверхности не совсем корректно, так как вследствие более высокой шероховатости поверхности суши испарение с нее может быть больше испарения с воды. Для оценки испаряемости им предложено использовать водный эквивалент радиационного баланса увлажненной поверхности

$$E_o = R_o / L.$$

Потенциальное испарение представляет собой испарение, которое может иметь место с любой поверхности при заданных метеорологических условиях, если было задано условие неограниченного подвода влаги к этой поверхности.

По данным расчетов Л.Б.Бышовец (1986) в пределах Украины испарение с водной поверхности в основном превышает испарение с суши. На севере эта разница в средние по водности годы достигает 100-120 мм, на юге - 450-500 мм, увеличиваясь в маловодные годы соответственно на 150-250 и 550-700 мм. В районах избыточного увлажнения Карпат наблюдается обратная картина: испарение с суши превышает испарение с водного зеркала.

Испаряемость за месяц Э.М.Ольдекоп (1911) определял как

$$E_o = md,$$

где  $d$  - дефицит влажности воздуха;  $m$  - коэффициент, для теплой половины года равен 22,7, для холодной - 16,0, в среднем за год 19,3.

По Н.Н.Иванову (1948,1954,1957) месячная величина испаряемости (мм/месяц) определяется как

$$E_o = 0,0018(T+25)^2(100-r),$$

где  $T$  и  $r$  - среднемесячная температура и влажность воздуха.

По Г.Т. Селянинову (1930, 1937)

$$E_o = 0,1 \sum T,$$

где  $\sum T$  - сумма среднесуточных температур за рассматриваемый период, в расчет принимаются лишь температуры выше 10°C.

По А.Р. Константинову (1968) испарение с увлажненной поверхности почвы, лишенной растительности можно определить по формуле:

$$E = 0,132 \left( 1 + 1,55 \frac{T_n - T_{200}}{u_{1000}^2} \right) u_n (e_{1000} - e_{200}), \text{ где } \bar{u} / \bar{n}$$

где  $T_n$  - температура поверхности;  $T_{200}$  - температура воздуха на высоте 200 см;  $u_{1000}$  - скорость ветра на высоте 1000 см, м/с;  $e_{1000}$  - влажность воздуха на высоте 1000 см;  $e_{200}$  - влажность воздуха на высоте 200 см.

Б.Д.Зайков (1949) для расчета средней месячной скорости испарения (в мм в сутки) предложил формулу:

$$E = 0,2(e_0 - e_{200})(1 + 0,85w_{100})$$

где  $e_0$  - упругость насыщенного водяного пара, рассчитанного по температуре поверхности воды, в мм, при использовании  $e_0$  и  $e_{200}$  в мб



коэффициент 0,2 нужно заменить на 0,15;  $e_{200}$  - упругость водяного пара в воздухе на высоте 200 см, в мм;  $w_{100}$  - если скорость ветра взята на высоте 200 см то ветровой коэффициент должен быть заменен на 0,72.

По М.С. Каганеру (1960, 1966) испарение с водной поверхности (мм) можно определить по формуле:

$$E = 0,2(e_0 - e_{200})(1 + 0,85w_{200}),$$

Здесь  $e_0$  и  $e_{200}$  - в мм.

Сравнительный анализ методов расчета потенциальной эвапотранспирации был предпринят Р.А. Полуэктовым с соавторами (1997). Под “потенциальной эвапотранспирацией” эти авторы понимают суммарное испарение с метеоплощадки, измеренное или рассчитанное в условиях оптимального увлажнения, т.е. при влажности почвы, близкой к наименьшей влагоемкости. Под термином же “испаряемость” подразумевают испарение с водной поверхности. Считается, что эти величины близки друг к другу, однако в реальных условиях они могут несколько отличаться. Существует множество методов ее расчета. В наиболее распространенных процедурах расчета ПЭТ, использующих стандартную метеорологическую информацию, входными параметрами являются следующие:

Метод	Параметры
А.М. и С.М. Алпатьевых	$T_{av}, Q_a, e_d$
Д.А. Штойко	$T_{av}, Q_a, e_d$
Блейни-Кридля	$T_{av}, P$
Тюрка	$T_{av}, R_d$
Пенмана-Монтейса	$T_{min}, T_{max}, Q_a, e_d, n/N, u$

где  $T_{min}$  и  $T_{max}$  - минимальная и максимальная температура воздуха,  $T_{av}$  - среднесуточная температура воздуха,  $Q_a$  и  $e_d$  - относительная влажность и дефицит влажности воздуха,  $R_a$  - радиационный баланс растительного покрова,  $n/N$  - относительная продолжительность солнечного сияния,  $P$  - доля продолжительности дневных часов в месяце от годовой суммы,  $u$  - скорость ветра на высоте флюгера.

Р.А. Полуэктов с соавторами (1997) считают, что наиболее физически обоснованным из рассмотренных ими методов, является метод предложенный Пенманом (1948) и усовершенствованный Монтейсом (1981). По методу Пенмана-Монтейса суммарную за сутки потенциальную эвапотранспирацию  $E_p$  (мм/сут) можно определить по формуле:

$$E_p = k_w \frac{R_{np}}{c} + (1 - k_w) E_{p0},$$

где  $\chi$  - теплота парообразования,  $k_w$  - коэффициент. Параметр  $E_{p0}$  имеет размерность транспирации и равен

$$E_{p0} = 8640 \rho_a \frac{q_{sat}(T_a) - q_a}{r_{\Sigma}^a}$$

где  $\rho_a$  - плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>);  $q_a$  и  $q_{sat}$  - соответственно измеренная и максимально возможная массовая доля влаги при температуре  $T_a$  (г/г);

$r_{\Sigma}^a$  - суммарное сопротивление при переносе водяного пара из межклетника растений в атмосферу (с/м). Коэффициент  $k_w$  может быть получен по соотношению

$$k_w = \frac{1}{1 + \left(\frac{g}{d}\right) \left(\frac{r_{\Sigma}^a}{r_{\Sigma}^T}\right)}$$

где  $\gamma$  - психрометрическая постоянная, равная  $0,445 \cdot 1/^\circ\text{C}$ ;  $\delta$  - коэффициент линеаризации в формуле Магнуса ( $1/^\circ\text{C}$ );  $r_{\Sigma}^T$  - тепловое сопротивление пограничного слоя (от поверхности листа до высоты измерения метеопараметров, с/см). При этом

$$r_{\Sigma}^a = r_{\Sigma}^T + r_{st},$$

где  $r_{st}$  - устьично-кутикулярное сопротивление.

$R_{np}$  - радиационный баланс травяного покрова:

$$R_{np} = R_{ns} - R_{nt}$$

где  $R_{ns}$  - приходная часть радиационного баланса травяного покрова (МДж/(м<sup>2</sup>·сут)):

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s,$$

где  $R_s$  - поглощенная суммарная радиация,  $\alpha$  - альbedo подстилающей поверхности. При отсутствии актинометрических наблюдений она может быть рассчитана по формуле:

$$R_s = \left( a_{sn} + b_{sn} \frac{n}{N} \right) R_a$$

где  $N$  - длительность светового дня (ч),  $n$  - число часов солнечного сияния,  $R_a$  - солнечная радиация на границе атмосферы. Входящие в эту зависимость коэффициенты  $a_{sn}$  и  $b_{sn}$  равны соответственно 0,24 и 0,75.

$R_{nl}$  - длинноволновое излучение подстилающей поверхности (по Монтейсу, 1981):

$$R_{nl} = \left( 0,9 \frac{n}{N} + 0,1 \right) \left( 0,34 - 0,139 \sqrt{e_d} \right) \sigma (T_{max}^4 + T_{min}^4)$$

где  $e_d$  - дефицит влажности воздуха (кПа);  $T_{max}$  и  $T_{min}$  - максимальная и минимальная температура воздуха (К);  $\sigma$  - постоянная Стефана-Больцмана (МДж/(м<sup>2</sup>К<sup>4</sup>сут)).

Р.А. Полуэктов с соавторами (1997) получили упрощенную формулу расчета потенциальной эвапотранспирации ( $E_0$ ), не уступающую в точности формуле Пенмана-Монтейса:

$$E_0 = \frac{d}{d + g^*} \frac{R_n}{c} + \frac{g}{d + g^*} \frac{10^5}{(T_{av} + 273)} u^{0,575} (q_{sat}(T_{av}) - q_a),$$

где  $T_{av}$  - среднесуточная температура воздуха;  $g^* = g \left( 1 + \frac{r_{\Sigma}^a}{r_{\Sigma}^T} \right)$  - модифицированная психрометрическая постоянная;  $u$  - скорость ветра.

Согласно (Методы расчета водных балансов..., 1976), в случае увлажненной испаряющей поверхности потенциальное испарение  $E_o$  представляется в виде:

$$E_o = \frac{1000}{r_w L} \cdot \frac{\tilde{A}}{\tilde{A} + g} \left[ (R_n - H_{so}) + \frac{r_a C_p}{\tilde{A}} (e_z^* - e_z) T f(u) \right],$$

где  $\rho_w$  и  $L$  - плотность и удельная теплота парообразования воды;  $\Gamma$  - производная упругости насыщающего водяного пара по температуре;  $v$  - психометрическая постоянная;  $R_n$  - радиационный баланс;  $H_{so}$  - поток тепла в почву;  $\rho_a$  и  $C_p$  - плотность воздуха и его удельная теплоемкость при постоянном давлении;  $e_s^*$  и  $e_z^*$  - упругость насыщенного водяного пара по температуре поверхности и на высоте  $z$  над поверхностью;  $T$  - расчетный период;  $f(u)$  - функция скорости ветра. Значение  $f(u)$  рассчитывается по средней температуре воздуха у поверхности на высоте  $z$  над поверхностью.

Значение  $f(u)$  обычно определяется эмпирически для данного типа растительности и определенных климатических условий. Когда размеры испаряющей площади достаточно велики,  $f(u)$  может определяться по теории ветрового профиля:

$$f(u) = k^2 u_z \left[ \Phi + \ln \left\{ (z + d + z_r) / z_r \right\} \right]^{-2}$$

где  $k = 0,43$  - постоянная Кармана;  $u_z$  - скорость ветра на высоте  $z$ ;  $\Phi$  - параметр адиабатического профиля;  $d$  - положение плоскости отсчета;  $z_r$  - параметр шероховатости.

$H_{so}$  - поток тепла в почву можно определить на основании данных измерений температуры почвы на глубинах 5, 100, 150, и 200 мм.

Торнвейт и Хольцман предложили расчет месячного потенциального испарения вести по уравнению:

$$E_o = 1,6D' \left( \frac{10t}{i} \right) a$$

где  $D'$  - месячная сумма продолжительности дня, выраженная в долях от 360 часов;  $t$  - средняя месячная температура воздуха;  $i$  - сумма месячных значений температурных индексов

$$i = \left( \frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

за все 12 месяцев года.

$$a = \frac{0,93}{2,45 - \ln i}$$

По Тюрку (1955) среднегодовое испарение с речных бассейнов определяется по формуле:

$$E = \frac{P}{\left[ 1 + \left( \frac{P}{E_o} \right)^n \right]^{1/n}}$$

где  $P$  - годовые осадки;  $E_0$  - максимально возможное испарение при данных метеорологических условиях и при достаточном увлажнении почвы:

$$E_0 = 300 + 2.5t + 0.05t^3$$

где  $t$  - температура воздуха;  $n = 2$ .

Для использования данного уравнения в расчетах испарения с небольших поверхностей за короткие промежутки времени вместо величины  $P$  нужно ставить сумму  $P + \Delta M$ , где  $\Delta M$  - изменение влагозапасов в почве, расходуемых на испарение за расчетные интервалы времени.

Анализ методов расчета испарения (метод почвенных испарителей, водного и теплового балансов, градиентный) проведенный К.И.Каулиной для условий степи показал, что наиболее приемлемым для метеорологической сети можно считать метод почвенных испарителей, как наиболее простой и сравнительно точный. Для получения испарения за длительные промежутки времени можно применять метод водного баланса почвы. Остальные методы или очень сложны (метод теплового баланса) или не дают надежных данных (градиентный метод). Однако, испарение, получаемое по методу полного теплового баланса наиболее близко к естественному. По полному методу теплового баланса испарение вычисляется по формуле М.И.Будыко, т.е. по потере тепла на испарение влаги за короткие сроки (часы, минуты):

$$E = \frac{(B - P)\Delta l}{\Delta l + 0.64\Delta t}$$

где  $B$  - величина радиационного баланса,  $P$  - величина теплового потока в почву,  $\Delta l$  - разность абсолютной влажности воздуха на высотах 0,5 и 2 м и  $\Delta t$  - разность температур на тех же высотах.

С.А. Кондратьевым (1990) при оценке возможных изменений стока с малых водосборов лесной зоны слой суммарного испарения за период весеннего половодья принимался зависящим от среднего запаса воды в снеге к началу снеготаяния ( $x$ , мм) и суммы жидких осадков ( $x'$ , мм):

$$P_1 = a_1 + b_1(x + x')$$

где  $a_1$  и  $b_1$  - параметры.

Интенсивность испарения  $E$ , мм/сут, в летне-осенний период рассчитывалась по формуле М.И. Будыко (1954)

$$E = E_0 \frac{W - W_c}{W_e - W_c}$$

где  $E_0$  - испаряемость, мм/сут;  $W$  - влажность почвы, мм;  $W_e$  - влажность завядания, мм;  $W_c$  - критический влагозапас, мм.

Сравнительная оценка методов расчета испарения с водоемов, проведенная В.И.Кузнецовым и Т.Г. Федоровой (1968), показала, что наиболее точной является методика, основанная на формулах Б.Д.Зайкова, А.П.Браславского и З.А.Викулиной:

$$E_0 = 0,14n(e_0 - e_{200})(1 + 0,72u_{200}), \text{ мм}$$

где  $e_0$  - средняя для водоема максимальная упругость водяного пара, вычисленная по температуре поверхности воды, мб;  $e_{200}$  - средняя над водоемом абсолютная влажность воздуха на высоте 200 см, мб;  $u_{200}$  - средняя скорость ветра на высоте 200 см над водоемом, м/с;  $n$  - число суток в расчетном периоде.

Точность расчета испарения и гидрометеорологических элементов по этой методике намного выше, чем по формуле С.Н.Крицкого, М.Ф.Менкеля, К.И.Россинского, методике ГГО и методу А.Р.Константинова. Ошибки расчета по этой методике, имеющие обеспеченность 67%, составляют для сезонных величин 7%, а для месячных - 18%. Для остальных трех рассматриваемых методов аналогичные ошибки намного выше. Кроме невысокой точности, последние три метода имеют и другие недостатки.

Несмотря на простоту и небольшую трудоемкость расчетов по формуле С.Н.Крицкого, М.Ф.Менкеля и К.И.Россинского, полученное по ней испарение оказывается, как правило, сильно заниженным по сравнению с фактическим.

Основными недостатками методики ГГО являются: 1) сложность и большая трудоемкость расчетов; 2) необходимость располагать данными по большому количеству исходных элементов, в том числе и материалами актинометрических наблюдений, которые нередко отсутствуют; 3) непригодность в существующем виде для расчетов внутрисезонного распределения испарения; 4) ограниченность применения в зависимости от линейных размеров и средней глубины водоема.

Метод А.Р.Константинова дает возможность достаточно надежно определять только средние многолетние величины испарения с бассейна площадью 20 м<sup>2</sup>.

Н.А. Шумовой (2003) на основе полуэмпирической теории суммарного испарения, разработанной А.И.Будаговским (1964) для безморозного периода для расчета потенциального испарения (мм/сут) воды почвой (испарение воды почвой, поверхность которой полностью увлажнена) (ESO) рекомендуется уравнение:

$$ESO = b_1 \hat{O}_s D_s d + b_2 (R \cdot e^{-sLAI} - B) \quad (*)$$

$$\hat{O}_s = e^{-1.1LAI}, \quad D_s = \frac{0,8u}{u^{1/2} + 0,7}, \quad b_1 = \frac{0,7}{1 + 1,56j},$$

$$b_2 = \frac{0,026j}{1 + 1,56j}, \quad j = \frac{24513}{(235 + T)^2} e^{17,1 \cdot T / (235 + T)}$$

где LAI - относительная площадь листьев (см<sup>2</sup>/см<sup>2</sup>); T - температура (°C) воздуха на высоте 2 м; d - дефицит влажности (гПа) воздуха на высоте 2 м; u - скорость (м/с) ветра на высоте 2 м; R - радиационный баланс (кал/(см<sup>2</sup>·сут)); B - теплообмен в почве (кал/(см<sup>2</sup>·сут));  $b_1$  и  $b_2$  - функции температуры воздуха;  $\phi$  - производная насыщающей упругости водяного пара от температуры воздуха (гПа/°C);  $\Phi_s$  - функция относительной площади листьев;  $D_s$  - функция скорости ветра;  $\gamma$  - эмпирический

параметр, зависящий от водно-физических свойств почвы, равный для лесостепной и степной зон  $0,0025 \text{ мм}^{-1}$ ;  $s$  - коэффициент, зависящий от географической широты и времени года (по А.И.Будаговскому, 1964).

Относительная площадь листьев - это эффективная поверхность растительного покрова (включающая площадь листьев и площадь продольного сечения стеблей и колосьев) на единице площади посева. Для ее расчета используются материалы наблюдений агрометеорологических станций за средней высотой и числом растений на единице площади. Расчет производится по зависимости:

$$\text{LAI} = (\text{LAI}_p \text{N}) / \text{S}, \text{LAI}_p = ah^r$$

где  $\text{LAI}_p$  - эффективная поверхность ( $\text{см}^2$ ) отдельного растения (площадь одной из сторон листьев и продольных сечений стеблей и колосьев);  $\text{N}$  - число растений на единице площади посева;  $\text{S}$  - площадь ( $\text{см}^2$ ) посева;  $h$  - высота ( $\text{см}$ ) растения;  $a$  и  $r$  - параметры, определяемые на основе материалов полевых исследований. Для яровой пшеницы и кукурузы показатель степени  $r$  может быть принят равным 1,5. Для кукурузы  $a = 1,7$ , для яровой пшеницы  $a$  изменяется в зависимости от фазы развития растений и равен: 0,15 (кущение), 0,18 (выход в трубку), 0,12 (колошение), 0,09 (цветение), 0,08 (молочная спелость), 0,07 (восковая спелость), 0,05 (полная спелость).

По (А.И.Будаговский, 1986) сравнение различных формул расчета испарения показала, что модифицированная формула Пенмана для полностью увлажненной поверхности почвы (вариант которой представлен в (\*)) показывает высокую адекватность исходным данным (ошибка расчета по ней 2-3%).

### 3.3.4. Почвенные влагозапасы

Расчет динамики почвенной влаги применяется в гидрологических моделях для расчета притока воды в русловую сеть, в гидрофизических моделях для учета физических процессов передвижения влаги и испарения, а также в агрометеорологических моделях для получения информации о процессах увлажнения и иссушения почвы сельскохозяйственного поля.

Согласно (Методы исследования водных балансов..., 1976), валовое увлажнение территории является интегральным показателем, характеризующим общую увлажненность данной территории и объединяющим часть расходных элементов водного баланса суммарное испарение и подземную составляющую речного стока, оно характеризует ту часть атмосферных осадков, которая была задержана на поверхности растительного и почвенного покрова, аккумулирована в почве и просочилась вглубь подстилающих ее грунтов.

$$W = P - S - U + E$$

где  $W$  - валовое увлажнение территории;  $P$  - атмосферные осадки;  $S$  - поверхностная составляющая речного стока -  $R$ ;  $U$  - его подземная составляющая.

Размеры валового увлажнения определяются соотношением атмосферных осадков и поверхностной составляющей речного стока. Величины последней самым существенным образом зависят от состояния почвенного и растительного покрова. При этом важную роль приобретает инфильтрационная и водоудерживающая способность почвенного покрова.

Соотношение между количеством осадков, стекающих по склону и проникающих в почву, т.е. составляющих ее валовое увлажнение, прежде всего, зависит от водопроницаемости почвенного покрова. Последняя определяется водно-физическими свойствами почвы, косвенной характеристикой которых может служить механический состав. В зависимости от него в лесной зоне Европейской части СССР по данным С.В.Басса (1963) за весенний период на лугу проникает в песчаную почву 80% осадков, в супесчаную - 67%, а в суглинистую около 47%. Однако у почв одинакового механического состава, но разного генетического типа эти соотношения будут различны.

Изменение запасов воды в почвогрунтах зоны аэрации определяется по данным наблюдений за влажностью верхнего метрового слоя почвогрунтов. Запасы влаги в зоне аэрации ниже верхнего метрового слоя почвогрунтов обычно не измеряются (Методы изучения и расчета водного баланса, 1981)

Согласно Г.П.Жмаевой и Л.С. Кучменту (1979) наиболее важная информация о водопоглотительных свойствах почвы при построении физико-статистических связей для прогноза объема весеннего половодья содержится в данных о запасах и распределении влажности почвы, однако из-за сильной изменчивости влажности почвы по площади и недостаточного объема наблюдений вместо измеренных величин запасов влаги обычно используют их косвенные характеристики, которые находятся по уравнению водного баланса на основании измерений осадков и данных об испарении. Например, в качестве косвенной характеристики запаса влаги перед наступлением зимы чаще всего берут суммы осадков за три предшествующих месяца за вычетом испарения. Такие показатели не учитывают процессы миграции влаги в почве, которые могут играть значительную роль в изменении содержания верхних слоев почвы, особенно в период промерзания почвы и при неглубоком залегании грунтовых вод. В качестве косвенной характеристики теплофизических процессов, происходящих в течение зимы, при долгосрочных прогнозах весеннего стока чаще всего используется измеренная глубина промерзания почвы. Основным недостатком этого показателя заключается в том, что он не всегда отражает температурный режим к моменту снеготаяния. Кроме того, глубины промерзания значительно меняются по площади и точность измерений этих величин в отдельных точках невысока.

А.П.Федосеев (1971) определил вероятность исходных состояний увлажнения метрового слоя суглинистой почвы на первую весеннюю декаду (перехода температуры воздуха через 5°C): в лесной зоне в 98% случаев запасы влаги будут находиться в пределах НВ-2/3НВ почвы, в лесостепной - в 96% случаев, в степной - в 82%, в сухостепной - в 72%.

О.И. Крестовским и Н.И. Капотовой (1968) были рассмотрены некоторые способы определения водоотдачи из водоносных горизонтов:

1) по разности между пористостью грунта (П) и максимальной молекулярной его влагоемкостью (ММВ), выраженной в процентах от объема грунта или как разность между полной влагоемкостью (ПВ) и ММВ в процентах от веса сухой почвы, этот способ определения водоотдачи грунтов дает приближенные величины, и применим только для среднезернистых и крупнозернистых песков при медленном снижении уровней грунтовых вод;

2) по разности между полной и наименьшей влагоемкостью (НВ) грунта. Этот метод широко используется, однако приводит к значительному завышению коэффициентов водоотдачи вследствие недоучета величины защемленного воздуха в порах грунта при насыщении его водой, а также наличия остаточной капиллярной влаги в грунтах после понижения уровня грунтовых вод.

По опытным данным коэффициенты водоотдачи грунтов варьируют в широких пределах в зависимости от типа почво-грунтов, его механического состава, отличаются они и для поля и леса (табл.3.4,3.5).

**Таблица 3.4.** Значения послойных коэффициентов водоотдачи грунтов водосборов ВНИГЛ (по О.И. Крестовскому и Н.И.Капотовой, 1968)

Глубина от поверхности земли, см	Песок флювиогляциальный, разномзернистый с прослойками супеси		Супесь, подстилаемая с глубины 200 см легким суглинком		Суглинок, переходящий на глубине 150 см в тяжелый	
	поле	лес	поле	лес	поле	лес
25			0,075	0,124	0,047	0,058
50			0,054	0,104	0,037	0,05
75			0,043	0,087	0,028	0,043
100	0,140	0,140	0,036	0,073	0,022	0,037
150	0,135	0,135	0,027	0,049	0,016	0,028
200	0,130	0,130	0,022	0,035	0,009	0,022
250	0,125	0,125	0,020	0,028	0,007	0,018
300	0,120	0,120	0,019	0,024	0,005	0,017

Почво-грунты способны аккумулировать и отдавать большое количество влаги. Убыль запасов влаги в почво-грунтах происходит, в основном, под влиянием испарения. Запас воды в почво-грунтах зоны аэрации определяется по данным наблюдений за их влажностью на основных угодьях - сельскохозяйственных полях и в лесу. Для расчета



водного баланса речного бассейна вычисляется средневзвешенный запас влаги с учетом доли площади, занимаемой основными угодьями, и определяется изменение этих запасов за рассматриваемый период. При оценке степени увлажненности бассейна и возможных потерь стока следует учитывать также площади бассейна, занимаемые различными по механическому составу почво-грунтами, значительно отличающимися по

**Таблица 3.5.** Приближенные значения коэффициентов водоотдачи для различных грунтов ( по О.И. Крестовскому и Н.И.Капотовой, 1968)

Механический состав	Коэффициенты водоотдачи
Суглинки тяжелые	0,005-0,02
Суглинки средние	0,02-0,04
Суглинки легкие	0,04-0,06
Супеси средние	0,06-0,08
Супеси легкие, пески тонко- и мелкозернистые	0,08-0,12
Пески среднезернистые	0,12-0,20
Пески крупнозернистые	0,20-0,30
Пески гравелистые	0,25-0,35
известняки трещиноватые	0,01-0,10

водоудерживающей и инфильтрационной способностям (например, песок, суглинок).

При воднобалансовых расчетах и анализе условий формирования стока изменение влагозапасов в почво-грунтах следует учитывать для всего слоя, в котором оно происходит под влиянием испарения. Мощность этого слоя неодинакова в различных физико-географических районах и непостоянна во времени для каждого района. Для южных районов ЕТС (районы недостаточного увлажнения) изменения влагозапасов в почво-грунтах в особо многоводные и засушливые периоды происходят в более мощном слое, чем в обычные периоды, при которых колебания запасов влаги ограничиваются верхним 2-3 метровым слоем. В центральных районах (районы умеренного увлажнения) мощность верхнего слоя, в котором происходит изменение влагозапасов, составляет обычно 1,5-2 м. В районах избыточного увлажнения, характеризующихся близким залеганием грунтовых вод верхнего водоносного горизонта (2-5), распределение влагозапасов в зоне аэрации обуславливается ходом испарения, осадков и режимом грунтовых вод.

Изменение запасов влаги в почво-грунтах в течение года весьма значительно (табл.3.6).

**Таблица 3.6.** Годовые амплитуды колебания влагозапасов на полевых водосборах, сложенных различными почво-грунтами (по О.И. Крестовскому и Н.И.Капотовой, 1968)

Слой почво-	Амплитуда колебания влагозапасов, мм		
	суглинок	супесь	песок

грунта, см	предельно возможная (ПВ-ВЗ)	средняя	предельно возможная (ПВ-ВЗ)	средняя	предельно возможная (ПВ-ВЗ)	средняя
0-50	140	70	180	70	180	50
50-100	100	30	160	30	175	30
0-100	240	100	340	100	355	80

Согласно (Р.А.Полуэктов и др., 2003) при постановке задачи оперативного расчета динамики почвенной влаги возникает вопрос о выборе подходящего алгоритма вычисления влагопереноса в рассматриваемом слое почвы и потоков, связанных с сопутствующими процессами: транспирацией, физическим испарением и инфильтрацией влаги из этого слоя, а также подпиткой грунтовыми водами. Не менее важным также является вопрос о доступности информации, необходимой для настройки и эксплуатации модели. Р.А.Полуэктов с соавторами (2003) предлагают для этой цели несколько вариантов решения задачи (табл.3.7). Различие между ними связано с объемом и стоимостью информационного обеспечения модели, с достижимой точностью расчетов, а также с областью потенциальной применимости результатов моделирования.

**Таблица 3.7.** Варианты модели динамики почвенной влаги и область их применения (Р.А. Полуэктов и др., 2003)

№ п/п	Вариант модели	Параметры, необходимые для настройки модели	Область применения
1	однослойная балансовая модель	агрогидрологические константы, сроки наступления фенофаз, динамика влагозапаса в почве	расчет динамики влагозапаса в метровом слое почвы, расчет и прогноз сроков наступления фенофаз
2	трехслойная балансовая модель	агрогидрологические константы, сроки наступления фенофаз, динамика влагозапаса в почве	расчет динамики почвенной влаги и элементов почвенного питания растений, расчет и прогноз сроков наступления фенофаз, прогноз урожая
3	Потоковая прогонка с итерациями	кривая водоудержания, функция влагопроводности почвы	расчет динамики почвенной влаги и элементов почвенного питания растений, расчет и прогноз сроков наступления фенофаз, прогноз урожая

Однослойная балансовая модель повторяет традиционную схему расчета водного баланса в метровом слое почвы, используемую уже давно. Запас влаги в почве в текущий момент времени находится как алгебраическая сумма начального влагозапаса и всех входящих и выходящих из расчетного слоя потоков влаги, умноженных на длительность временного шага модели. Отличием является учет суточных значений метеорологических величин и оценка реальной эвапотранспирации с использованием метода более точного по сравнению с разработанными ранее. Изменение влагозапаса в слое почвы 0-100 см на двух последовательных шагах счета модели определяется как

$$W_{(k+1)} = W_{(k)} + (F_{0(k)} - WsLow_{(k)})\tau, W_{(0)} = W_0$$

где  $k$  - номер временного шага модели;  $\tau$  - длительность временного шага модели, сут.;  $W$  - влагозапас в метровом слое почвы, мм;  $W_0$  - начальный запас, мм;  $F_0$  - влагообмен между почвой (посевом) и атмосферой, мм/сут;  $WsLow$  - влагообмен на нижней границе расчетного слоя почвы, мм/сут. При наличии атмосферных осадков влагообмен на верхней границе почвы приравнивается к их суточной величине  $Pr$ :  $F_0 = Pr$ , а в отсутствие осадков он определяется как эвапотранспирация с обратным знаком:  $F_0 = -E_{real}$ .

Поток влаги на нижней границе рассчитывается в соответствии с формулой:

$$WsLow_{(k)} = A_3 \frac{W_{(k)}}{W_{(k)} + \exp(A_1 - A_2 W_{(k)})} (C - \psi_{(k)})$$

где  $\psi$  - капиллярно-сорбционный потенциал почвенной влаги, Мпа;  $A_1, A_2, A_3$  - коэффициенты, определяемые по гидрофизическим характеристикам почвы;  $C$  - эмпирическая константа, зависящая от глубины залегания грунтовых вод.

Основной проблемой применения данной схемы для расчета почвенной влаги, согласно (Р.А.Полуэктов, 2003), является выбор соответствующей модели испарения воды из почвы. Зависимость между объемной влажностью почвы и потенциалом почвенной влаги может быть описана любым из известных соотношений, к примеру:

$$\theta = \theta_{max} (\psi_0 / \psi)^b,$$

где  $\theta$  - объемная влажность почвы, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $\theta_{max}$  - влажность насыщения, см<sup>3</sup>/см<sup>3</sup>;  $\psi_0$  - потенциал барботирования, Мпа;  $b$  - эмпирическая константа.

Учет особенностей гидрологического режима почвы в предшествующий (холодный) период года в моделях, описывающих пространственно-временную структуру поля влажности почвы на континентах в теплый период года, существенно уточняет последние (А.В.Кислов, 1991). О высоком уровне изменчивости влажности почвы в начале теплого сезона свидетельствуют данные наблюдений, сгруппированные по агрогидрологическим районам европейской части СССР (табл.3.8).

В.А. Шутовым (1996) за качественные критерии образования стока были приняты влажность почвы, превышающая наименьшую влагоемкость, и значения коэффициента фильтрации ( $K_{\phi}$ ), не превосходящие точность регистрации интенсивности дождя (0,02 мм/мин или 1,2 мм/ч). По данным съемки, выполненной после весеннего половодья, оказалось, что ареал с влажностью почвы, превышающей наименьшую влагоемкость, занимает 1/2 площади водосбора, причем

**Таблица 3.8.** Среднее квадратичное отклонение запасов продуктивной влаги под озимыми зерновыми культурами  $\sigma_{w0}$  (по агрогидрологическим районам) слоя 0-100 см для третьей декады апреля (по А.В.Кислову, 1991)

$\sigma_{w0}$ , мм	район*								
	ОБВ	МКУ	ПКУ	ВИУ	КППВ	ПВП	УВП	СВП	ОСВП
мин.	46,3	40,2	37,4	33,3	30,0	38,2	37,0	33,5	26,8
макс	62,9	58,8	52,9	54,5	31,1	44,7	41,0	37,1	42,6

\* - Районы: обводнения (ОБВ), максимального капиллярного увлажнения (МКУ), периодического капиллярного увлажнения (ПКУ), временного избыточного увлажнения (ВИУ), капиллярно-подперто-подвешенной влаги (КППВ), полного весеннего промачивания (ПВП), умеренного весеннего промачивания (УВП), слабого весеннего промачивания (СВП), очень слабого весеннего промачивания (ОСВП).

имелись случаи превышения полной влагоемкости. Вместе с тем на глубине 0,05 м нигде не выполняется условие  $K_{\phi} < 1,2$  мм/ч, для глубины в 1 м 1/2 площади занимает площадь, где данное условие выполняется. Коэффициент фильтрации обладает наибольшей пространственной изменчивостью по сравнению с другими параметрами (влажностью и полной влагоемкостью)

С.А. Кондратьев (1990) изменение влагозапасов на водосборе ( $DW$ , мм), за интервал времени  $\Delta t$  в зависимости от генерализованных параметров, соответствующих минимальным  $W_{min}$  и максимальным  $W_{max}$  возможным значениям влагозапасов (мм), при которых происходит формирование стока, определял по зависимости:

$$DW = (W_{max} - W) \left[ 1 - \exp\left(\frac{(R - E)\Delta t}{W_{max} - W_{min}}\right) \right]$$

где  $E$  - испарение, мм/сут;  $R$  - интенсивность жидких осадков, мм/сут.

Уравнение применимо при  $W_{min} \leq W \leq W_{max}$ . Если  $W$  ниже минимальной, то все осадки расходуются на увеличение влагозапасов, если  $W$  выше максимальной, то формирование стока происходит по всей площади водосбора. В качестве начального значения текущего влагозапаса на момент окончания половодья в расчетах принималось условие  $W = W_n$ , где  $W_n$  - наименьшая (полевая) влагоемкость, мм.

Поскольку инструментальных измерений влажности почвы недостаточно, то наиболее часто (В.А.Романенко, 1961) за характеристику увлажненности водосбора принимают осадки, выпавшие за определенный промежуток времени или же разность между осадками и суммарным

испарением за тот же период. Так, осеннее увлажнение почвы часто определяется по осадкам, выпавшим с 1 сентября и до установления отрицательных температур воздуха или снежного покрова. Коэффициенты корреляции между такими величинами влагозапасов и запасами продуктивной влаги в почве в слое 0-100 см составляют 0,75-0,93. К основным недостаткам такого метода относят погрешности расчета суммарного испарения и необходимость эмпирически подбирать продолжительности периода характеристики увлажнения почвы. Поэтому для целей гидрологических прогнозов лучше принимать в качестве показателя увлажнения почвы не разность осадков и испарения, а рассчитанные запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-100 см. Расчет предлагается вести по уравнению водного баланса, а также по эмпирической зависимости влажности почвы от осадков, температуры и предшествующей влажности. Коэффициенты вариации запасов продуктивной влаги в почве для Северной части бассейна Днепра весной составляют 0,20, а осенью 0,38. Величину начальной влажности почвы на 28 апреля для бассейна р. Днепра в пределах Украины можно принять равной 150 мм.

Баланс продуктивных запасов почвенной влаги и вопросы моделирования длительных рядов элементов водного баланса почвы с помощью динамико-стохастической модели рассматривается также в работе (И.Н.Соловьев, Ю.А.Чеботарев, 1986). Здесь динамику процессов влагопереноса рассматривают в одномерной схематизации для летнего периода. Для элементарного участка почвы конечной глубины уравнение водного баланса можно записать:

$$\Delta S = R - P - Q - E - T - G,$$

где  $\Delta S$  – изменение запасов почвенной влаги за рассматриваемый интервал времени; R- осадки; P- перехват осадков растительным покровом; Q – поверхностный сток; E – физическое испарение; T - транспирация; G – отток влаги с нижней границы почвы.

Водно-физические характеристики почвы НВ и ВЗ за длительный интервал времени могут претерпевать изменения. Поэтому при схематизации процесса предполагается их постоянство во времени. Для нахождения баланса продуктивных запасов влаги в почве допускают (И.Н.Соловьев, Ю.А.Чеботарев, 1986), что в начале летнего сезона содержание влаги в почве оптимально и равно (НВ-ВЗ). За летний период запасы влаги в почве пополняются за счет атмосферных осадков на величину, равную осадкам за вычетом поверхностного стока и перехвата осадков растительностью, т.е. R-P-Q. Истощение запасов почвенной влаги за летний период составляет величину E+T+G. В зависимости от климатических условий года использование продуктивных запасов почвенной влаги складывается по-разному в соответствии с тем, какие значения принимают величины R, P, Q, E, T, G. Если обозначить через U изменение продуктивных запасов почвенной влаги, то уравнение баланса ее продуктивных запасов можно записать в виде:

$$U = (НВ-ВЗ)+(R-P-Q)-(E+T+G)$$

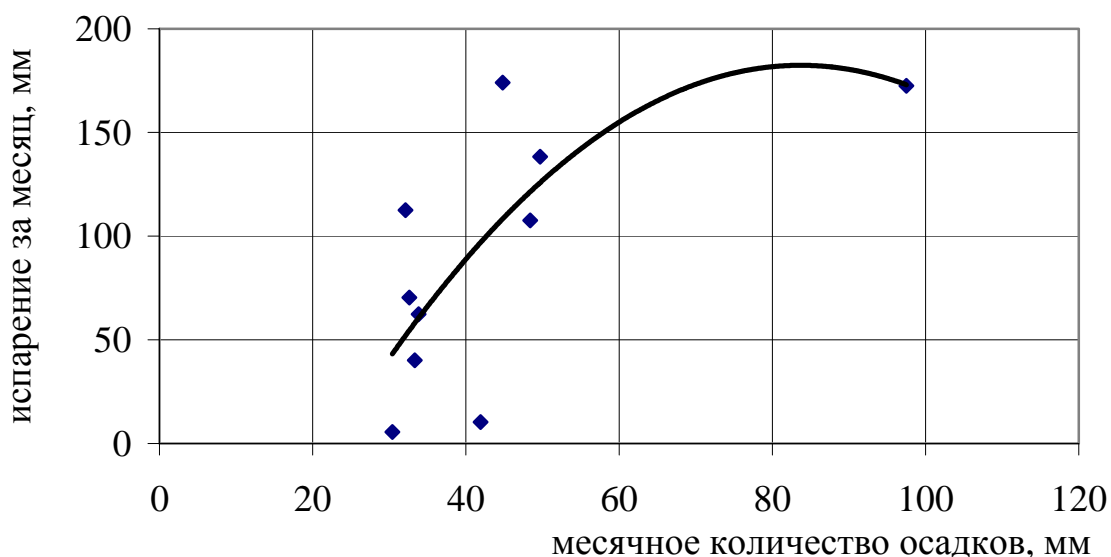
При равенстве расходных статей баланса (E+T+G) приходным (R-P-Q) запасы продуктивной влаги в почве остаются без изменений. Если расход превысит приход, то часть продуктивных запасов влаги окажется израсходованной. При этом может наступить момент, когда будет израсходована не только влага атмосферных осадков, но и все продуктивные влагозапасы почвы, т.е.  $E+T+G = НВ-ВЗ + (R-P-Q)$ . В этом случае  $U = 0$  и данная ситуация соответствует абсолютной засухе. Если расход почвенной влаги (E+T+G) меньше прихода (R-P-Q), то очевидно, почва окажется в состоянии избыточного увлажнения.

Растения способны потреблять влагу из почвы в интервале от наименьшей влагоемкости (НВ) до влажности завядания (ВЗ). Ряд исследований показывает, что наиболее продуктивно рост растений происходит, когда запасы почвенной влаги находятся в пределах значений от НВ-ВЗ до ВРК-ВЗ, где ВРК – запасы влаги при влажности разрыва капиллярной связи. В этих же исследованиях показано, что для суглинистых почв  $ВРК=0,7НВ$ , а для супесчаных  $ВРК=0,5НВ$ . Если содержание влаги, например, в суглинистой почве, падает ниже величины  $0,7НВ-ВЗ$ , то растения начинают испытывать ограничения в потреблении почвенной влаги и, таким образом, влажность почвы выступает в роли лимитирующего фактора роста. Тогда, избыточная увлажненность почвы имеет место при условии, когда  $U > НВ-ВЗ$ , оптимальная – когда  $0,7(НВ-ВЗ) \leq U \leq (НВ-ВЗ)$ , недостаточная – когда  $U < 0,7(НВ-ВЗ)$ .

При сопоставлении хода величины  $U$  замечено (И.Н.Соловьев, Ю.А.Чеботарев, 1986), что оптимальная увлажненность почвы обеспечивается суммой осадков за летний период, не меньшей их среднемноголетней величины. При  $U \leq 0,7(НВ-ВЗ)$  влага, поступающая в почву с атмосферными осадками, не компенсирует расход на транспирацию растений. Если  $T < (R-P-Q)$  потребность растений во влаге целиком обеспечивается атмосферными осадками, а запасы продуктивной влаги в почве не лимитируют их жизнедеятельность. При избыточной увлажненности, когда  $U > НВ-ВЗ$  имеем  $(R-P-Q) > (E+T+G)$  влага атмосферных осадков полностью компенсирует расходные статьи водного баланса почвы. В интервале оптимальной увлажненности почвы при  $0,7(НВ-ВЗ) \leq U \leq (НВ-ВЗ)$  вытекает неравенство  $T \leq (R-P-Q) \leq (E+T+G)$ . В этих условиях продуктивные запасы почвенной влаги не являются лимитирующим фактором роста, так как для транспирации растений достаточно влаги, приходящей в виде атмосферных осадков. Тогда делается вывод (И.Н.Соловьев, Ю.А.Чеботарев, 1986), что для поддержания транспирации растений на оптимальном уровне в данных климатических условиях достаточно многолетней нормы осадков. Тогда избыточный интервал увлажненности почвы будет характеризоваться следующим соотношением элементов водного баланса  $(R-P-Q) > (E+T+G)$ , оптимальный  $T \leq (R-P-Q) \leq (E+T+G)$ , недостаточный  $(R-P-Q) < T < (E+T+G)$ .

### 3.4. Взаимосвязь водного и теплового баланса

Между водным и тепловым балансом существуют тесные пространственные связи. В приведенных выше уравнениях для водного, теплового и радиационного балансов входит испарение  $E$ , которое во всех случаях играет большую роль. Уравнение связи между этими балансами можно записывать не только через испарение, но и через сток, и через фотосинтез и т.п. В качестве графического выражения уравнения связи можно представить график зависимости испарения от количества осадков (рис.3.3). Начиная с какого-то значения (свое в каждой зоне, т.е. для каждого радиационного баланса) испарение не растет с ростом количества осадков (т.к. не хватает тепла), т.е. испарение лимитируется энергетическими ресурсами (также влияют сток и рельеф). Можно в качестве зависимой переменной взять не испарение, а сток, тогда сток начинает сильно расти, при определенном количестве осадков, когда вода при данном значении радиационного баланса больше уже не может испаряться.



**Рис.3.3. Зависимость испарения за месяц с водной поверхности водохранилища от количества осадков, р.Южный Буг, район г. Первомайск**

Изменение климата на Земле вызывает насущную потребность в лучшем понимании и прогнозировании процессов, управляющих переносом, преобразованием и обменом тепла и воды в климатической системе и их взаимодействия. Эти процессы неразрывно переплетены во времени и пространстве, от турбулентности в пограничном слое до глобального изменения климата. Поэтому в рамках Всемирной программы исследования климата (ВПИК) в 1990 г. был организован Глобальный эксперимент по изучению энергетического и водного циклов (ГЭКЭВ), в рамках которого проводятся исследования динамики и термики

атмосферы, взаимодействия атмосферы с поверхностью Земли (особенно над сушей), а также исследования глобального водного цикла (С.Сорушиан и др., 2005). В проекте ГЭКЭВ выделяют две фазы. В первой фазе (1990-2002 гг.) внимание было сосредоточено на разработке средств анализа и моделей с использованием операционных и исследовательских спутников, региональных анализов бассейнов континентального масштаба, а также на разработке параметризации процессов с обратной связью (относящихся к облакам и суше) для моделей глобального климата. В работе в этот период принимало участие более 1500 ученых из 35 стран. В процессе второй фазы ГЭКЭВ (2003-2013 гг.) используются теоретические и практические результаты первой фазы, а также подчеркивается надежность усовершенствованных моделей, системы усвоения данных спутниковых систем, вносящих весомый вклад в изучение климата. Задачами второй фазы ГЭКЭВ являются производство массивов совместимых научных данных высокого качества, расширение знаний о функционировании процессов, определение географических и сезонных характеристик прогнозируемости ключевых переменных, разработка более точных сезонных прогнозов изменчивости водного и энергетического циклов, сотрудничество с действующими гидрометеорологическими службами и научными гидрологическими программами.

Приоритетная задача ВПИК и ГЭКЭВ состоит в том (С.Сорушиан и др., 2005), чтобы понять роль воды в климатической системе. Вода в виде пара является наиболее сильным и распространенным парниковым газом на Земле. Облака также выполняют важную роль обратной связи в климатической системе и в зависимости от их состава, пространственного распределения и высоты могут усиливать или уменьшать эффекты изменения климата. Влияние обратной связи также обусловлено состоянием поверхности суши, зависящим от почвенной влаги и растительности, которое контролирует разделение поступающей солнечной радиации на потоки радиационного, явного, скрытого (испарение) и приземного тепла, а осадков – на сток и инфильтрацию. Этот цикл замыкает суммарное испарение суши и океана. Основная цель исследований ГЭКЭВ состоит в том, чтобы понять и объединить глобальные водный и энергетический балансы.

### **3.5. Баланс биомассы**

Основой функционирования биогеоценозов является биологический круговорот веществ. Запасы биомассы распределяются по земной поверхности неравномерно (табл. 3.9-3.10). Круговорот биомассы представляется в статике (среднегодовые показатели) и динамике (циклы, флуктуации и сукцессии).

Динамика биологического круговорота представляется в его режимах (А.А.Титлянова, 1989). Режим биологического круговорота – это характер изменения его параметров со временем. Фундаментальными



параметрами биологического круговорота принято считать запасы веществ в компонентах биогеоценозов и интенсивность обменных процессов: а) между компонентами (внутренние процессы), б) между соседними биогеоценозами (вход и выход из биогеоценоза). Режимы биологического круговорота могут быть трех типов: стационарный, периодический и переходный. Характеристики режимов можно записать следующим

**Таблица 3.9.** Биомасса (сухой вес) (по Н.Ф.Реймерсу, 1990)

Тип экосистем	Площадь, 10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup>	Биомасса растений, кг/м <sup>3</sup>		Мировая величина	
		колебания	среднее	Биомасса растений, 10 <sup>9</sup> т	Биомасса животных, 10 <sup>9</sup> т
Влажные тропические леса	17,0	6-80	45	765	330
Тропические сезонно зеленые леса	7,5	6-80	35	260	90
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	6-200	35	175	50
Листопадные леса умеренного пояса	7,0	6-60	30	210	110
Тайга	12,0	6-40	20	240	57
Лесо-кустарниковые сообщества	8,5	2-20	6	50	40
Саванна	15,0	0,2-15	4	60	220
Лугостепь	9,0	0,2-5	1,6	14	60
Тундра и высокогорье	8,0	0,1-3	0,6	5	35
Пустыни и полупустыни	18,0	0,1-4	0,7	13	8
Сухие пустыни, скалы, ледники и т.п.	24,0	0-0,2	0,02	0,5	0,02
Культивируемые земли	14,0	0,4-12	1	14	6
Болота и марши	2,0	3-50	15	30	20
Озера и водотоки	2,0	0,01	0,02	0,05	10
Материковые экосистемы в целом	149	-	12,3	1837	1005
Открытый океан	332,0	0-0,005	0,003	1,0	800
Зоны апвеллинга	0,4	0,005-0,1	0,02	0,008	4
Континентальный шельф	26,6	0,001-0,04	0,01	0,27	100
Заросли водорослей и рифы	0,6	0,04-4	2	1,2	12
Эстуарии	1,4	0,01-6	1	1,4	21
Морские экосистемы в целом	361	-	0,01	3,9	997
Общая биомасса земли	510	-	3,6	1841	2002

**Таблица 3.10.** Первичная и вторичная биологическая продуктивность (по Н.Ф.Реймерсу, 1990)

Тип экосистем	Площадь, 10 <sup>6</sup> км <sup>2</sup>	Чистая первичная продукция, г/м <sup>2</sup> за год		Общая чистая первичная продукция, 10 <sup>9</sup> т/год	Продуктивность животных, 10 <sup>6</sup> т/год
		колебания	среднее		
Влажные тропические леса	17,0	1000-3500	2200	37,4	260
Тропические сезонно зеленые леса	7,5	1000-2500	1600	12	72
Вечнозеленые леса умеренного пояса	5,0	600-2500	1300	6,5	26
Листопадные леса умеренного пояса	7,0	600-2500	1200	8,4	42
Тайга	12,0	400-2000	800	9,6	38
Лесо-кустарниковые сообщества	8,5	250-1200	700	6	30
Саванна	15,0	200-2000	900	13,5	300
Лугостепь	9,0	200-1500	600	5,4	80
Тундра и высокогорье	8,0	10-400	140	1,1	3
Пустыни и полупустыни	18,0	10-250	90	1,6	7
Сухие пустыни, скалы, ледники и т.п.	24,0	0-10	3	0,07	0,02
Культивируемые земли	14,0	100-3500	650	9,1	9
Болота и марши	2,0	800-3500	2000	4,0	32
Озера и водотоки	2,0	100-1500	250	0,5	10
Материковые экосистемы в целом	149	0-3500	773	115	909
Открытый океан	332,0	2-400	125	41,5	2500
Зоны апвеллинга	0,4	400-1000	500	0,2	11
Континентальный шельф	26,6	200-600	360	9,6	430
Заросли водорослей и рифы	0,6	500-4000	2500	1,6	36
Эстуарии	1,4	200-3500	1500	2,1	48
Морские экосистемы в целом	361	2-4000	152	55	3025
Средняя и общая продуктивность в биосфере	510	0-4000	333	170	3934

образом: 1) стационарный: запас вещества в компоненте ( $Q$ ) постоянен, интенсивность входа вещества ( $I_{in}$ ) равна интенсивности выхода вещества ( $I_{out}$ ), чистая первичная продукция ( $NNP$ ) равна интенсивности гетеротрофного дыхания ( $Res$ ); 2) периодический: условия стационарности выполняются лишь на длительном отрезке времени; 3) переходной с накоплением:  $Q_{t2} < Q_{t1}$ ;  $I_{in} < I_{out}$ ;  $NNP < Res$ .

Стационарный режим характеризуется тем, что запасы веществ во всех компонентах и интенсивности всех процессов остаются постоянными, вход вещества в систему равен выходу из нее, чистая первичная продукция равна гетеротрофному дыханию. Данный режим идеалистичен, не один природный биогеоценоз не функционирует в истинно стационарном режиме.

При периодическом режиме изменение всех параметров происходит периодически под воздействием циклически меняющихся факторов внешней среды. Периодический режим часто отождествляется со стационарным, так как за некоторое количество лет тут выполняются условия стационарности: постоянство запасов и интенсивностей потоков, равенство входа вещества в биогеоценоз и выхода из него, равенство  $NNP$  и  $Res$ . В периодическом режиме функционируют климаксовые, субклимаксовые биогеоценозы, а также часть полуприродных, длительно существующих антропогенных трансформатов.

Переходный режим устанавливается в тех случаях, когда биогеоценоз переходит от одного состояния к другому. В переходном режиме с накоплением запасы вещества увеличиваются со временем, вход больше выхода и  $NNP > Res$ . В переходном режиме с потерями запасы вещества в биогеоценозе уменьшаются, вход меньше выхода,  $NNP < Res$ . В переходном режиме функционируют все биогеоценозы, находящиеся на любой стадии любого типа сукцессии, основная часть полуприродных биогеоценозов и большинство природно-антропогенных комплексов. Следовательно, большая часть биогеоценотического покрова Земли функционирует в том или ином переходном режиме. Переходный режим с потерями складывается на пастбищах с перегрузкой, на сенокосах, в агроценозе с экстенсивным ведением хозяйства, в природных биогеоценозах при их загрязнении техногенными выбросами. В этих биогеоценозах запасы фитомассы, мортмассы и гумуса со временем уменьшаются. Переходный режим с накоплением характерен для растущих лесов, для болот, молодых биогеоценозов, формирующихся на скалах, песках, техногенных отвалах, в агроценозах интенсивного типа и т.д. В таких биогеоценозах избыток энергии и вещества, равный разнице между входом углерода органических веществ и его выходом в виде  $CO_2$ , закрепляется в фитомассе, растительных остатках и гумусе почвы.

Периодический режим определяется, прежде всего, сезонной циклическостью. Широко известен характер нарастания надземной фитомассы в течение вегетационного периода в степях и лугах. Динамика запаса живых подземных органов изучена лишь для отдельных

биогеоценозов. Для подземной фитомассы, как и для надземной, существует определенный тип изменения запасов в течение вегетационного сезона. В степях масса закономерно увеличивается от весны к концу лета и уменьшается в течение осенне-зимнего периода. Общий характер цикла сохраняется от года к году при наличии погодичных флуктуаций, связанных сложным образом с режимом тепла и увлажнения территории. Амплитуда флуктуаций достаточно высока, поэтому изучение биологического круговорота на материалах стационарных наблюдений за 4 и менее лет не позволит получить его объективную оценку.

Потери гумуса в черноземных и черноземовидных пахотных почвах (А.А.Титлянова, 1989), если последние не получают органических удобрений, неизбежны и обусловлены переходным режимом биологического круговорота. С течением времени, в случае установления нового стационарного состояния, система выйдет на другой постоянный уровень почвенного органического вещества. По расчетам стационарный уровень наступает через 200 лет использования почв, содержание органического вещества уменьшается до  $3680 \text{ г/м}^2\text{С}$  и его потери составят 36% от исходного запаса.

Для определения скорости формирования запасов гумуса необходимо знать размеры поступления в почву растительного опада как главного источника органических веществ и величину коэффициента их гумификации (А.М.Бурькин, Э.В.Засорина, 1989). В большинстве типов растительности (за исключением лесной) величина опада равна приросту. По данным (Л.Е.Родин, Н.И.Базилевич, 1964) листовой опад составляет 40-90% полного древесного опада. Под травянистой растительностью основным источником органических веществ служит корневой опад, масса которого в метровом слое колеблется от 8 до 28 т/га в зоне степей и от 6 до 13 т/га на суходольных лугах. Под многолетними сеянными травами в зависимости от их урожая и видового состава фитоценозов накапливается от 6-8 до 12-15 т/га корней (Л.Н.Александрова, 1970). Некоторые сведения о поступлении растительных остатков в породы представлено в табл.3.11.

Скорость разложения и минерализации зависит в первую очередь от химического состава растительности (А.М.Бурькин, Э.В.Засорина, 1989), так как различные органические соединения растительных остатков минерализуются с неодинаковой скоростью. Наиболее быстро разлагаются безазотистые экстрактивные вещества (целлюлоза и гемицеллюлоза). Менее интенсивно минерализуется лигнин за счет устойчивости к микробному воздействию. Скорость минерализации одних и тех же групп органических веществ в различных растительных остатках неодинакова. Гемицеллюлоза, целлюлоза и лигнин корней клевера разлагаются гораздо медленнее, чем эти же группы соединений, содержащиеся в его наземной массе. В конечном итоге лигнин частично минерализуется, но основная его масса подвергается гумификации и превращается в гуминовые кислоты. Наиболее интенсивно минерализуется надземная масса клевера и

**Таблица 3.11.** Поступление растительных остатков в горные породы (Л.Н.Александрова, 1970)

Культура	Порода	Воздушно-сухая масса корней, ц/га	Автор
Люцерна синегибридная (к моменту достижения максимальной продуктивности – 3-4 года жизни)	Лессовидные суглинки	187	Н.Т.Масюк, 1982
	Серо-зеленые мергели	151	
Эспарцет песчаный	Лессовидные суглинки	187	
	Серо-зеленые мергели	151	
Люцерна (3 год жизни)	Не удобренный лессовидный суглинок	98,8	Н.Х.Узбек, 1982
Эспарцет (3 год жизни)		46,6	
Люцерна (3 год жизни)	Не удобренная красно-бурая глина	105,4	
Эспарцет (3 год жизни)		73,5	
Пласт люцерны после укоса		140-180 (корневых и пожнивных остатков)	А.И.Стифеев и др.1982
Люцерна на сидерат		240-300 корневых и пожнивных остатков	

овсяницы, медленнее минерализуются корни клевера и листья акации. Причем на мело-мергелях интенсивность разложения корней выше, чем на песчаных отвалах. На молодых отвалах скорость минерализации выше, чем на старых.

Темпы минерализации определяются не только химическим составом растительных остатков, но и климатическими особенностями года (среднемесячным количеством осадков и температурой воздуха), а также свойствами субстрата, в той или иной степени реагирующего на изменение условий климатических факторов (А.М.Бурыкин, Э.В.Засорина, 1989). Умеренные летние температуры и осадки способствуют минерализации в верхнем слое (0-10 см), но замедляют данный процесс в 1,5-2,5 раза на глубине 10-20 см в мело-мергельном субстрате (анаэробные условия) и усиливают его в 1,5-1,7 раза в песчаных отвалах. Скорость поступления опада может опережать скорость его разложения, что способствует развитию войлока и дернины на песчаных отвалах 20 летнего возраста. Минерализация растительных остатков может быть описана следующими зависимостями (А.М.Бурыкин, Э.В.Засорина, 1989):

На 20-летних отвалах. Надземная масса клевера лугового:  
на мело-мергельных отвалах:

$$Y = 32 + 590/(14+X);$$

на песчаных отвалах:

$$Y = 40 + 616/(17+X).$$

Корни клевера лугового:

на мело-мергельных отвалах:

$$Y = 36 + 860/(12+X);$$

на песчаных отвалах:

$$Y = 54 + 700/(10+X).$$

где  $Y$  – количество неразложившихся остатков, %;  $X$  – срок наблюдения, дни.

На 3-летних отвалах не наблюдалось четкой зависимости в процессе разложения растительных остатков, что позволило описать данный процесс системой уравнений. Например, для надземной массы клевера на мело-мергельном отвале:

$$Y = 60 + 110/(0,75+X), 0 \leq X \leq 60,$$

$$Y = -0,4 \cdot 10^{-3} X^3 + 0,37X + 54,2, 60 \leq X \leq 150;$$

Для корней клевера на мело-мергельном отвале

$$Y = 40 + 1810/(31+X), 0 \leq X \leq 90,$$

$$Y = 70 - 0,27X, 90 \leq X \leq 150.$$

Второй стороной процесса гумусообразования является гумификация растительных остатков. Гумификация представляет собой образование высокомолекулярных азотсодержащих гуминовых кислот из разложившихся органических остатков. Количество новообразованных гумусовых веществ максимально может составлять лишь 1/3-1/5 (30-20%) массы исходного материала, а непосредственно в гумус превращается только 10%, так как не все новообразованные гумусовые вещества сохраняются в почве.

В техногенных экосистемах на процесс гумификации непосредственное влияние оказывают эдафические условия (аэрация, гидротермические, физико-химические, микробиологические, биохимические свойства почв, растительность, климат).

Избыток влаги, тяжелый гранулометрический состав и низкое содержание гумуса тормозят процессы минерализации и создают наилучшие предпосылки для гумификации растительных остатков. В мело-мергельных отвалах 3- и 20-летнего возраста новообразованных веществ накапливается в 1,2-1,5 раза больше, чем в песчаных отвалах, что можно объяснить усиленной сорбцией промежуточных органокомплексных продуктов на свободной минеральной поверхности субстратов и одновременным усилением накопления новообразованных гуминовых веществ в форме нерастворимых гуматов кальция, что обусловлено нейтральной или слабощелочной (рН 7,0-8,2) реакцией среды мело-мергеля и насыщением его кальцием.

На процесс гумификации существенное влияние оказывает химический состав растительных остатков (А.М.Бурькин, Э.В.Засорина, 1989). Много новообразованных гумусовых веществ наблюдается в экстрактах из надземной массы клевера лугового и овсяницы луговой.

Существенное влияние на процессы гумификации оказывают реакция среды и химический состав минеральной части субстрата. При разложении растительных остатков в песках преобладают водно-растворимые формы гумусовых веществ, а в мелу – растворимые в пирофосфате натрия. Из образцов с корнями клевера и листьями акации вода меньше всего извлекает гумусовых веществ преимущественно фульватного типа. Новообразованные гумусовые вещества присутствуют в водных вытяжках в первые сроки наблюдения (7-90 дней) и тесно связаны с динамикой и количеством осадков, а в пирофосфатных – в течение всего периода наблюдения. В периоды с незначительным количеством осадков (май, август) минерализация и гумификация приостанавливаются.

Процессы минерализации и гумификации тесно коррелируют. Более глубокой минерализации соответствует увеличение новообразованных гуминовых веществ.

При разложении надземной массы клевера лугового в 20-летних отвалах процесс гумификации может быть описан следующими уравнениями (А.М.Бурыкин, Э.В.Засорина, 1989):

на мело-мергельных отвалах:

$$Y = 836 / (30/X + X/30 - 0,3);$$

на песчаных отвалах

$$Y = 744 / (30/X + X/30 - 0,4);$$

где Y- количество новообразованных гуминовых и фульвокислот, мг; X – срок наблюдения, дни.

При разложении корней клевера в субстрате 20-летних отвалов процессы гумификации могут быть описаны следующим образом:

на мело-мергельных отвалах:

$$Y = [14178 / (60/X + X/60)] + 32, \quad 0 \leq X \leq 90$$

$$Y = 556 - 3,2X, \quad 90 \leq X \leq 150$$

на песчаных отвалах:

$$Y = [8000 / (60/X + X/60)] + 18, \quad 0 \leq X \leq 90,$$

$$Y = 90 + 648 / (X - 84), \quad 90 \leq X \leq 150.$$

При расчетах гумусового баланса в почвах используется коэффициент гумификации (Кг), под которым понимается часть поступающих в почву органических веществ (наземные и корневые растительные остатки, органические удобрения), трансформирующихся в гумус.

Обычно величина Кг рассчитывается в процентах или долях (на сухое вещество) от годового количества поступающих в почву свежих органических веществ (Н.Ф.Ганжира, 1979). Однако за год разлагается не все количество поступивших в почву свежих органических веществ, а только 30-60% (табл.3.12). Остальная масса частично гумифицируется, а частично минерализуется в последующие годы. Поэтому для расчета Кг используют промежуток времени в несколько лет, включающий ряд циклов разложения поступающих в почву свежих органических веществ. Кг характеризует наиболее важные звенья гумусообразования:



соотношение процессов гумификации и минерализации органических веществ в почвах. Эта величина представляет интерес для познания генезиса почв и современных почвенных процессов. Практическое значение заключается в том, что его можно определить как коэффициент полезного действия органических удобрений и растительных остатков с точки зрения накопления гумуса в почвах.

**Таблица 3.12.** Количество ежегодного наземного опада (сухое вещество), запасы гумуса и Кг (коэффициент гумификации) опада в почвах (по Н.Ф.Ганжире, 1979)

Насаждение	Ежегодный опад, т/га	Запасы гумуса (т/га) в слое 0- 45см	Среднегодовой прирост гумуса, т/га	Кг
Дуб	8,2	30,0	1,0	0,12
Лиственница	5,6	33,0	1,1	0,20
Смешанный лес	7,0	39,0	1,3	0,19
Сосна+липа	5,7	46,0	1,5	0,26

Наибольшее содержание надземной массы на корню наблюдается у сеяных трав донника, люцерны, эспарцета (табл.3.13). Виды естественных сообществ характеризуются значительно меньшей фитомассой на корню (овсяница, ковыль) (табл.3.13). Наибольшее накопление подземной фитомассы наблюдается под злаковыми многолетними травами естественных сообществ, особенно в верхних слоях. Максимальные значения в слое 0-5 см под пыреем (9,11 кг/м<sup>2</sup>), ковылем (8 кг/м<sup>2</sup>), житняком (7,53 кг/м<sup>2</sup>) и под овсяницей (более 5 кг/м<sup>2</sup>). Под сеяними бобовыми травами их содержание значительно меньше. Под кострцом

**Таблица 3.13** Урожайность надземной части разных трав на черноземе обыкновенном (Р.Ф.Хасанова и др., 2008) (кг/м<sup>2</sup>)

Трава	Сырая наземная фитомасса на корню (зеленая фитомасса + ветошь) (кг/м <sup>2</sup> )	Воздушно-сухая масса (кг/м <sup>2</sup> )		Доля подстилки в воздушно- сухой фитомассе, %
		подстилка	всего	
Ковыль	0,54	0,30	0,47	63,83
Пырей	0,96	0,23	0,55	41,82
Житняк	0,79	0,26	0,53	49,06
Овсяница	0,50	0,24	0,41	58,54
Кострец	1,30	0,50	0,82	60,98
Козлятник	1,64	0,91	1,32	68,94
Люцерна	1,86	0,77	1,23	62,60
Эспарцет	1,75	0,25	0,69	36,23
Донник	2,54	0,28	0,92	30,43
Озимая рожь	1,91	-	0,48	-
Яровая пшеница	1,05	-	0,26	-

масса корней находится на уровне овсяницы. Под озимой рожью корневая система составляет  $2,19 \text{ кг/м}^2$ , под яровой пшеницей –  $1,42 \text{ кг/м}^2$ . В целом для слоя 0-30 см наибольшее накопление корней также наблюдается под видами естественных сообществ (Р.Ф.Хасанова и др., 2008). Для бобовых трав характерно относительно равномерное распределение корневой массы в слое 0-30 см, хотя повышенная доля корневой массы в поверхностном слое сохраняется (Р.Ф.Хасанова и др., 2008).

Максимум надземного растительного вещества в агроценозе (в благоприятный по метеорологическим условиям и питанию год) отмечался в фазу молочно-восковой спелости, а во время полной спелости запас его понизился вследствие ресинтеза и расхода на дыхание, оттока в подземные органы и разложения (Н.Т.Шатохина, 1979) (табл.3.14). В засушливые годы у пшеницы процесс образования продукции менее длительный. Максимум продукции отмечался в фазу трубкование – колошение и был значительно ниже. Кроме основной культуры (пшеницы) в состав агроценоза входили сорняки. Образование продукции сорняками более интенсивно протекало в периоды ослабленного продуцирования пшеницей. Во влажные годы продукция сорняков составляла 10-12% всей продукции агроценоза. В годы с засушливыми периодами, в течение которых нарушались рост и развитие пшеницы, абсолютная и особенно относительная доля продукции сорняков увеличивалась, благодаря чему возрастала продукция агроценоза и, следовательно, количество поступающего в почву растительного вещества. Образование продукции подземных органов пшеницы продолжалось от появления всходов до начала налива зерна с максимумом в фазу кущения (табл.3.15) (Н.Т.Шатохина, 1979). В фазу полной спелости и старения растений наблюдается незначительный отток органического вещества из надземных органов в корни. С конца фазы кущения и до молочно-восковой спелости прослеживалось отмирание и разложение корней пшеницы с максимумом во время цветения и налива зерна (25.VII-20.VIII). Первичная продукция подземных органов пшеницы в слое 0-20 см составляла  $2,18 \text{ т/га}$ , в слое 0-30 см  $2,60 \text{ т/га}$  и превосходила их массу в период уборки в 1,6 раза. В течение сезона отмерло и успело разложиться около 50% годичной продукции корней, или 65% максимального их запаса. В засушливые годы продукция корней пшеницы уменьшалась, а сорняков увеличивалась, в результате запас живых корней в агроценозе менялся незначительно. Дикорастущие растения обладают большей продукционной способностью, чем культурные, однако основная доля продукции у первых образуется в подземной сфере (Н.Т.Шатохина, 1979). В благоприятные годы при улучшении экологических условий не столько увеличивается первичная продукция, сколько возрастает количество и доля зерна в общей продукции агроценоза.

**Таблица 3.14.** Характеристики продукционного процесса в надземной сфере агроценоза (по материалам 1972 г. (благоприятный год)) (Н.Т.Шатохина, 1979)

Дата отбора проб	Запас, т/га				Период	Процесс, т/га · период				
	фитомасса		ветошь	подстилка		продукция		образование ветоши	образование подстилки	разложение подстилки
	пшеницы	сорняков				пшеницы	сорняков			
10.VII	2,48	0,34	0,15	0,00	1.VI-10.VII	2,63	0,34	0,15	0,00	0,00
25.VII	4,48	0,48	0,38	0,14	10.VII-25.VII	2,42	0,14	0,42	0,19	0,04
5.VIII	5,12	0,92	0,65	0,26	25.VII-5.VIII	1,08	0,44	0,45	0,18	0,06
20.VIII	8,33	0,35	0,80	0,33	5.VIII-20.VIII	3,34	0,00	0,69	0,55	0,48
12.IX	0,00	0,57	7,30	0,96	20.VIII-12.IX	-0,97*	0,22	5,53	0,88	0,25
					1.VI-12.IX	9,47	1,14	7,24	1,80	0,83

**Таблица 3.15.** Характеристики продукционного процесса в подземной сфере агроценоза (слой почвы 0-20 см, по материалам 1972 г. (благоприятный год)) (Н.Т.Шатохина, 1979)

Дата отбора проб	Запас, т/га			Период	Процесс, т/га · период			
	корни пшеницы	корни сорняков	мертвые растительные остатки		продукция		разложение	
					пшеницы	сорняков	отмерших корней	мертвых остатков
10.VII	1,40	0,15	4,04	1.VI-10.VII	1,40	0,15	0,00	не опр.
25.VII	1,62	0,18	2,94	10.VII-25.VII	0,34	0,03	0,10	1,10
5.VIII	1,20	0,27	3,00	25.VII-5.VIII	0,12	0,09	0,55	0,00
20.VIII	0,80	0,18	3,00	5.VIII-20.VIII	0,00	0,00	0,46	0,00
12.IX	1,12	0,17	3,00	20.VIII-12.IX	0,33	0,15	0,00	0,00
				1.VI-12.IX	2,18	0,42	1,11	1,10

Для сеяного злакового травостоя наблюдается закономерность повышения доли зеленой фитомассы в 2,5-3,1 раза по действием азотных удобрений и снижение доли корневой массы по сравнению с контролем (табл.3.16) (М.Г.Меркушева и др., 1997).

**Таблица 3.16.** Биопродуктивность сеяного злакового травостоя в зависимости от азотных удобрений, среднее за три года (М.Г.Меркушева и др., 1997) (\* - над чертой – в ц/га, под чертой – в %)

Вариант	Запасы биомассы			Распределение корневой массы в почве, %			Отношение корня : надземная масса
	Общие, ц/га	Надземной*	Подземной*	0-10 см	10-20 см	20-30 см	
Контроль	249,9	19,7/ 7,9	230,2/ 92,1	73,7	16,8	9,8	11,7
P60K60 (фон 1)	254,3	25,7/ 10,1	228,6/ 89,9	74,3	15,2	10,5	8,9
Фон 1 + N120 (60+60)	208,5	40,5/ 19,4	168/ 80,6	79,0	16,6	4,4	4,1
Фон 1 + N120 весной	245,9	57,3/ 23,3	186,6/ 76,7	80,0	14,2	5,8	3,3
Фон 1 + N120 осенью	255,8	50,2/ 19,6	205,6/ 80,4	84,7	9,7	5,6	4,1
Фон 1 +N180 (120+60)	227,2	56,6/ 24,9	170,6/ 75,1	84,1	8,6	7,3	3,0
P90K90 (фон 2)	240,3	22,0/ 8,5	218,3/ 91,5	71,6	17,4	11,0	9,9
Фон 2 + N240 (120+60+60)	276,9	68,4/ 24,7	208,5/ 75,3	83,0	12,5	4,5	3,0
P, %		5,7	3,2				
НСР <sub>05</sub> , шт./м <sup>2</sup>		7,7	19,5				

Согласно (И.П.Гречин, А.Г.Замараев, Т.И. Макарова, 1971) накопление сухих веществ в надземной части растений овса продолжается до полной спелости, а увеличение сухого веса корней – до фазы выхода в трубку. С фазы выметывания наряду с новообразованием корней происходит более интенсивное их отмирание.

Согласно (А.А.Титлянова, 1989) циклы лет с высокими и низкими урожаями трав в степных экосистемах не соответствуют лучшим (теплым и влажным) и худшим (холодным и сухим) погодным периодам. Урожайные годы приходятся на периоды холодные и влажные, следующие за умеренно теплыми и умеренно влажными, а неурожайные годы – на периоды умеренно теплые и умеренно влажные, следующие за теплыми и влажными. Прямой зависимости между суммарными количествами тепла и влаги, с одной стороны и урожайностью зеленой фитомассы – с другой не наблюдается. Наблюдается высокая вариабельность параметров биологического круговорота (табл.3.17), что говорит о необходимости его изучения за многолетний период для возможности учета всех его флуктуаций и периодических изменений.

**Таблица 3.17.** Меры вариабельности ( $\alpha=100(X_{\max}-X_{\min})/X_{\text{ср}}$ ) запасов и продукции для групп травяных биогеоценозов (А.А.Титлянова, 1989)

параметр	Вариабельность	Опустыненные и сухие степи	Настоящие степи	Луговые степи
Живые подземные органы	по сезону	80	70	50
	по годам	30	40	30
Подземные растительные остатки	по сезону	70	40	40
	по годам	30	50	50
Максимальный укос зеленой фитомассы	по годам	80	70	60
<b>Продукция:</b>				
надземная	по годам	80	70	50
подземная	по годам	80	70	70
полная	по годам	70	70	60

При исследовании вторичного транспортного отвала (А.А.Титлянова, 1989) выявлено, что в слое 0-20 см за 30 лет накапливается 60% Сорг от его количества в зональном черноземе. Время же достижения стационарного состояния (зональный чернозем) оценено авторами в 170-250 лет.

В климаксовых биогеоценозах наблюдается постоянство запаса почвенного органического вещества (А.А.Титлянова, 1989). После распашки целины система входит в переходный режим. Многовидовой высокопродуктивный фитоценоз одномоментно замещается монокультурой, продукция которой в 2 раза ниже, чем в степи. В тоже время почва с ее биогеохимическими свойствами и биотой переходит из степного биогеоценоза в агроценоз. Какое-то время почва сохраняет прежнюю активность микробиоценоза и прежнюю потенцию к деструктивным процессам. Возникает нарушение бюджета углерода. Вход растительных остатков в почву в агроценозе по сравнению со степным биогеоценозом уменьшается в 3,7 раза в связи с понижением чистой первичной продукции и отчуждением урожая. Интенсивность гумификации оказывается в 1,5 раза меньше интенсивности минерализации гумуса. В результате запас почвенного органического вещества неизбежно уменьшается. Если пахотные почвы не получают органических удобрений, потери гумуса из почвы неизбежны и обусловлены переходным режимом биологического круговорота. С течением времени, возможно, установление нового стационарного состояния (при постоянстве поступления растительных остатков), система выходит на другой постоянный уровень почвенного органического вещества. По расчетам новый стационарный уровень наступит через 200

лет использования почв, содержание органики в почве уменьшится на 36% от исходной (А.А.Титлянова, 1989).

В почве пашни процессы минерализации проходят более интенсивно, чем на залежи (Ю.И.Чевердин, 2009). Поэтому в ней снижается гумусированность, особенно в первые годы после распашки. Так, в табл.3.18 представлены данные по изменению содержания гумуса в черноземе обыкновенном тяжелосуглинистом на введенном в эксплуатацию в 1992 г участке в зависимости от времени эксплуатации. На соседнем участке, эксплуатируемом с 1952 года, содержание гумуса составило 6,88%, а эксплуатируемом уже 111 лет – 6,87%.

**Таблица 3.18.** Содержание гумуса в слое 0-20 см чернозема обыкновенного (Ю.И.Чевердин, 2009)

Год	1992	1995	1997	2003
Содержание гумуса, %	9,4	8,9	8,65	8,48

В Каменной Степи заповедные степные участки, расположенные на водораздельных плато, сохранили свое естественное плодородие с показателями содержания гумуса в верхнем горизонте почвы 9,38-10,18%, в почве пашни количество гумуса снизилось значительно – на плакоре – до 6,14%; на склонах – до 5,7% (Ю.И.Чевердин, 2009). Одновременно увеличилась плотность почвы, уменьшилась водопроницаемость (в 1,9-4,6 раза). Изменилось и рН почвы: на целине  $pH_{\text{сол}}$ , как правило, – нейтральна, а на пашне – слабощелочная, от целины  $pH_{\text{сол}}$  отклонялось на 0,09-0,2 единицы.

Расчет баланса гумуса рекомендуется проводить (Н.Ф.Ганжира, 1979) по следующей формуле:

$$St = (So + K_{\Gamma}At) - K_{\text{M}}(So - K_{\Gamma}At) \text{ или}$$

$$St = (So + K_{\Gamma}At)(1 - K_{\text{M}}).$$

где  $St$  – запасы гумуса, т/га через время  $t$  лет;  $So$  – исходные запасы гумуса, т/га;  $K_{\Gamma}$  – коэффициент гумификации свежих органических веществ в долях от единицы, за единицу принимается  $A$ ;  $A$  – количество поступающих в почву свежих органических веществ, т/га сухого вещества;  $t$  – время в годах, для которого рассчитываются запасы гумуса;  $K_{\text{M}}$  – коэффициент минерализации гумуса в долях единицы, за единицу принимается величина  $So + K_{\Gamma}At$ .

Предельное накопление гумуса ( $S$ ) можно оценить по формуле (Н.Ф.Ганжира, 1979):

$$S = (K_{\Gamma}/K_{\text{M}})A.$$

Время, необходимое для накопления заданных запасов гумуса можно оценить по формуле (Н.Ф.Ганжира, 1979):

$$t = [St - So(1 - K_{\text{M}})] / [K_{\Gamma}A(1 - K_{\text{M}})].$$

Прямое определение  $K_{\Gamma}$  проводят в безгумусных субстратах (породах) при известном количестве поступающих в почву или вносимых органических веществ за определенное время, в пахотных почвах  $K_{\Gamma}$  определяют по приросту гумуса.

Согласно (И.В.Тюрин, 1965) предельную величину накопления гумуса (S) можно определить по формуле:

$$S = \frac{1-a}{x} A,$$

где A – величина ежегодного прихода; a – коэффициент разложения свежего материала; x – коэффициент разложения гумуса.

Количество новообразованного гумуса можно найти по следующей формуле (И.С.Кауричев, Н.Ф.Ганжара, 1971):

$$N_a = N_0 \left( 1 - e^{-\frac{n}{N_0} t} \right),$$

где  $N_a$  – количество новообразованного гумуса;  $N_0$  – общее содержание гумуса; t – промежуток времени, за который образовалось новое количество гумуса; n – скорость обмена.

Для практически полного обновления гумуса требуется период времени  $t = N_0/n$ , что соответствует 300 годам, однако, т.к. за период обновления условия минерализации гумуса и гумификации опада будут меняться, то расчетное время является приближенным. При достижении запасов гумуса в почвах предельных величин, превращение растительных остатков преимущественно начинает идти по пути обновления гумусовых веществ (И.С.Кауричев, Н.Ф.Ганжара, 1971). Величины пополнения гумуса за счет растительных остатков представлены в табл.3.19.

**Таблица 3.19.** Среднегодовая минерализация гумуса и его восстановление благодаря гумификации растительных остатков при выращивании разных культур, т/га (Сівозміни у землеробстві..., 2002)

Культура	Минерализация гумуса	Растительные остатки	Пополнение гумуса благодаря растительным остаткам
Озимая пшеница	0,7	3,0-4,9	0,4-0,6
Озимая рожь	0,9	4,0-4,5	0,4-0,5
Ячмень, овес	0,6	2,9-4,5	0,3-0,5
Лен	0,9	1,8-2,2	0,2-0,3
Горох и др. зернобобовые	0,8	1,1-2,0	0,3-0,6
Кукуруза	1,1	2,3-3,0	0,3-0,4
Сахарная свекла	1,5	0,5-0,8	0,04-0,06
Подсолнечник	1,1	4,0-6,0	0,4-0,6
Картофель, овощи	1,3	1,2-2,1	0,06-0,15
Однолетние травы	0,7	2,5-3,5	0,5-0,7
Клевер	0,2	6,0-7,0	1,5-1,7
Эспарцет	0,2	3,7-4,0	0,9-1,2
Черный пар	1,6-2,0	-	-

Бюджет азота в биогеоценозе в значительной мере определяется режимом и интенсивностями обменных процессов углеродного цикла

(А.А.Титлянова, 1989). В степном биогеоценозе, где потребление азота растениями осуществляется с апреля по октябрь и составляет около 25 г/м<sup>2</sup> в год, нитратный азот в почве практически отсутствует. По мере освобождения азота из растительных остатков он мгновенно перехватывается разветвленной корневой системой степных растений. В агроценозе интенсивность нитрификации увеличивается, а потребление минерального азота растениями уменьшается, так как агроценоз функционирует лишь 3 месяца и потребляет в 2 раза меньше азота, чем степной фитоценоз. Накапливаются излишки нитратного азота, которые подвергаются денитрификации и миграции с гравитационными водами. Значительные количества азота выносятся с урожаем зерна. За 30 лет использования целины из слоя почвы 0-300 см было потеряно 44 г/м<sup>2</sup> азота, кроме того, запас азота минерального возрос с 2 (целина) до 20 г/м<sup>2</sup> (агроценоз). Из 20 г/м<sup>2</sup> только около 5 г/м<sup>2</sup> находилось в слое почвы 0-100 см, 15 г/м<sup>2</sup> мигрировало глубже 1 м (табл.3.20).

Согласно (В.А.Девярых, Н.П.Панов, 1971), в почвах солонцового комплекса главную роль в опаде играют корневые остатки (табл.3.21). Соотношение надземной массы к корням в почвах изменяется с изменением условий увлажнения. Там, где условия увлажнения лучше, лучше и условия разложения органических остатков.

**Таблица 3.20.** Бюджет азота в агроценозе за 30 лет (по А.А.Титляновой, 1989)

Составляющая бюджета	Интенсивность г/м <sup>2</sup> за 30 лет	Составляющая бюджета	Интенсивность г/м <sup>2</sup> за 30 лет
Поступило		Вынесено	
с азотфиксацией	85	денитрифицировано	26
с осадками	18	с урожаем	121
с семенами	5	мигрировало ниже 300 см	5
всего	108	всего	152
		Абсолютные потери азота из агроценоза	44

Сорняки извлекают из почвы значительное количество питательных веществ, больше чем многие культурные растения (Льноводство, 1967) (табл.3.22-3.23).

Поступление запасов фитомассы в почву в лесокультурных ценозах с увеличением возраста лесных культур сначала понижается (табл.3.24). Это обусловлено, в основном, густотой древостоя в возрасте от 14 до 48 лет (В.А.Кудрявцев, 2009), а также степенью сомкнутости крон и индивидуальными особенностями насаждений (исследовались лесные еловые насаждения с примесью осины и березы). С увеличением возраста насаждений (после 48-50 лет) увеличивается парцелярность древостоев, проводятся проходные рубки, при этом увеличивается освещенность, температура почвы и интенсивность процесса фотосинтеза, а, следовательно, и поступление фитомассы от живого напочвенного покрова.



**Таблица 3.21.** Некоторые показатели биологической продуктивности растений почв солонцового комплекса (В.А.Девярых, Н.П.Панов, 1971)

Почва	Ассоциация	Надземная часть, ц/га	Корни 0-50 см, ц/га	Отношение надземной массы к	Общая фитомасса	Ежегодное поступление в почву в виде опада, ц/га		
						от надземной массы	от корней	всего
Солонец солончаковый	Чернополынная (черная полынь, прутняк) проективное покрытие 50-55%, основная масса корней в слое 0-40 см	8,0	73,0	1:9	81	8	24	32
Светло-каштановая солонцеватая	Житняково-ромашниковая (ромашник, житняк пустынный) проективное покрытие около 75%, основная масса корней в слое 0-60 см	12,0	89,0	1:7	101	12	29	41
Темноцветная черноземовидная почва западины	Разнотравно-злаковая (типчак, ковыль Лессинга, житняк гребневидный, подмаренник русский, люцерна румынская) проективное покрытие 85-95%, основная масса корней в слое 0-70 см	24,0	126,0	1:5	150	24	42	66

**Таблица 3.22.** Потребление питательных веществ некоторыми сорняками при сильном засорении (Льноводство, 1967)

Сорняк	Количество питательных веществ, извлекаемых из почвы (в кг с 1 га)		
	азота	фосфора	калия
Пырей ползучий	48,6	31,5	68,5
Осот желтый	67,0	28,8	195,8
Бодяк	138,2	31,0	117,0

**Таблица 3.23.** Коэффициенты потребления удобрений (N<sup>15</sup>) сельскохозяйственными культурами и сорняками (Науково-практичні рекомендації..., 2007)

Сельскохозяйственная культура	Коэффициент потребления, %	Вид сорняка	Коэффициент потребления, %
Яровая пшеница	53,1	Ромашка непахучая	57,7
Лен	6,3	Лебеда белая	65,2
Просо	56,0	Торица полевая	29,0
		метлица обыкновенная	62,5
		Пырей ползучий	53,0
		Подмаренник цепкий	70,4
		Горчица полевая	62,9

**Таблица 3.24.** Изменение запаса органического вещества в лесном ценозе (В.А.Кудрявцев, 2009)

Объект	Возраст культур, лет	Запас, т/га абс.сух. вещества	Толщина слоя подстилки, см в пробах				Сред.знач. запасов подстилки, т/га
			первая	вторая	третья	сред вел.	
I	7	1,13	1,2	2,2	-	1,7	10,03
II	14	0,76	2,0	3,0	-	2,50	14,97
III	28	0,51	2,1	2,9	4,0	3,00	28,00
IV	38	0,45	3,9	5,1	-	4,50	30,10
V	48	0,71	3,3	3,7	6,0	4,33	32,01
VI	58	0,40	4,0	5,8	5,8	5,20	31,90
VII	62	0,84	4,3	5,0	-	4,65	31,00

В 48-летнем хвойно-лиственном насаждении искусственного происхождения на долю опада древостоя приходится 85%, кустарников и трав – 11,2%, мхов – 2,8%, большую часть опада формирует активная (достигающая 72,6%) фракция, образованная хвоей, листьями, почвенными чешуями, семенами и соцветиями древесных растений. Шишки, ветви и кора относятся к неактивной части древесного опада (27,4%). В летне-осенний период на поверхность почвы поступает в 2 раза больше опада древостоя, чем в зимне-весенний период, скорость разложения компонентов опада варьирует от 13 до 77% в год, а величина отношения C/N в них 18:74. Большая часть опада разлагается в летне-осенний период, в запасах подстилки преобладают сильно- и полуразложившиеся остатки. В целом в течение года в опаде полностью могут разложиться только травянистые остатки (В.А.Кудрявцев, 2009).

Исследование динамики лесной подстилки (В.М.Ивонин, В.В.Засоба, 1989) показало, что связи между возрастом эдификатора ( $n$ , лет) и весом подстилки ( $N$ , т/га) имеют вид:

для широколиственных насаждений:

$$N = 4,792 + 0,742n - 0,0082n^2;$$

для светлохвойных насаждений:

$$N = -10,63 + 2,43n - 0,0297n^2.$$

Ограничивающим пределом использования представленных зависимостей служит для широколиственных лесов – 95 лет, для светлохвойных – 50 лет. Поскольку в насаждениях широколиственной группы формаций накопление лесной подстилки происходит до возраста эдификатора около 45 лет. В дальнейшем темпы разложения лесной подстилки превышают объемы опада и органическая масса под пологом насаждений уменьшается. В насаждениях светлохвойной группы увеличение и уменьшение массы лесной подстилки происходит с течением времени более стремительно, чем в широколиственных насаждениях. Максимальные объемы подстилки накапливаются под пологом культур сосны в возрасте около 41 года. В возрасте 41 года под пологом сосновых насаждений на 1 га накапливается органической массы 40 т и более. Это приводит к ее дифференциации по слоям, когда на границе с почвой полуразложившиеся хвоинки с плотной упаковкой образуют прослойку, замедляющую фильтрацию воды. В насаждениях старше 41 года годовые темпы разложения органики становятся больше массы опада и дифференциация подстилки по слоям проявляется менее заметно, полностью исчезая к возрасту эдификатора около 60 лет.

В общем виде **уравнение фитомассы** может быть представлено в следующем виде (В.Л.Черепнин, 1999):

$$\Phi = P \cdot B,$$

где  $\Phi$  – фитомасса за вегетационный год (условные единицы или га),  $P$  – индекс солнечной радиации (продуктивная энергия температуры и света),  $B$  – индекс влажности (продуктивная влага во всех ее видах).

Оно выражает через условные индексы или проценты теоретический потенциал использования солнечной радиации и влажности в зональном нарастании фитомассы за единицу времени (вегетационный год). Для фактической оценки параметров  $P$  и  $B$  необходимы специальные расчеты продуктивной световой и температурной энергии, равно и баланса продуктивной влаги, или определения соответствующих им стабильных наследственных морфо-физиологических признаки - маркеров доминирующих видов фитоценозов (В.Л.Черепнин, 1999). На основе теоретических расчетов и фактических данных определены шесть закономерностей прироста растительных сообществ суши земного шара (В.Л.Черепнин, 1999):

Первая и главная закономерность, названная естественным равновесием фитомассы, отражает причины одинакового продуцирования органической массы в различных растительных зонах, которые теснейшим

образом связаны с характером сочетания факторов продуктивной солнечной радиации и увлажнения, их лимитирующей ролью. В условиях достаточного увлажнения (фитоклиматический индекс сухости меньше единицы) лимитирующим является фактор солнечной радиации, и здесь его ресурсы используются растениями максимально, а влага потребляется лишь в том количестве, которое необходимо для реализации температурной и световой энергии (растительность тундры и леса умеренного пояса, субтропиков и тропиков). В условиях ограниченного увлажнения (фитоклиматический индекс сухости больше единицы), лимитирующим выступает фактор влаги, а солнечная радиация используется лишь в количестве, необходимом для реализации этой влаги. К таким местообитаниям относятся леса на их фитоклиматическом пределе (индекс сухости 1 – 1,5), лесостепи, степи и прерии, саванны, полупустыни и пустыни.

Вторая закономерность, вытекающая из первой, отражает зональное равновесие фитомассы и климата, где по всему широтному профилю от полюса к экватору по значению фитоклиматического индекса сухости проходит полоса равноценного для роста сочетания солнечной энергии и влажности (один к одному). Полосе этих условий суши Земли характерен сбалансированный широтно-зональный режим солнечной радиации и влажности в образовании фитомассы (и, возможно, наибольшее биоразнообразие), но не оптимум роста.

Третья, четвертая и пятая закономерности образования фитомассы показывают насколько изменяется годичный прирост при определенных режимах увлажнения и солнечной радиации или обоих показателях вместе, отражая ритмичное равновесие в едином и постоянном режиме, равном 2 условным индексам фитомассы или  $10 \text{ м}^3/\text{га}/\text{год}$  – фактической, 3 или  $15 \text{ м}^3$ , 4 или  $20 \text{ м}^3$  и т.д. Чем выше доступная (продуктивная) влага, тем интенсивнее используется солнечная радиация в росте фитоценоза. При постоянном режиме солнечной радиации прирост изменяется соответственно изменению увлажнения по принципу арифметической прогрессии. Максимальный показатель продуктивного увлажнения (индекс 10) отражает оптимальный режим нарастания фитомассы. В умеренном поясе оптимальный показатель равновесия фитомассы по влажности соответствует фитоклиматическому индексу сухости в диапазоне 0,15-0,56, возрастая по мере его повышения. В субтропическом поясе оптимальному показателю равновесия фитомассы и продуктивной влаги соответствует фитоклиматический индекс сухости от 0,56 до 0,88, а в тропиках – от 0,88 до 1,0. Таким образом, оптимальные условия нарастания фитомассы по показателю индекса сухости не равноценны в зональном спектре, и изменяются они, повышаясь от полюса к экватору, теоретически от индекса сухости 0 до индекса 1. Для каждого показателя солнечной радиации будет свой зонально-широтный оптимальный предел нарастания фитомассы, и связан он с максимальным использованием продуктивной влаги.

Одним из важных факторов высокой продуктивности фитомассы в зональных (плакорных) достаточно влажных, но не переувлажненных условиях низких широт служит неразрывно связанное с гидротермическим режимом постоянное интенсивное вовлечение в биологический круговорот естественного опада и отпада. При большой (субтропики) и круглогодичной (тропики) продолжительности вегетационного периода (то есть высоком радиационном режиме) и достаточном увлажнении детрит быстро перерабатывается (разлагается напочвенной и почвенной фауной, бактериями и грибами), интенсивно вовлекаясь в круговорот элементов питания, регулярно поддерживая высокий показатель роста составляющих фитоценоз растений и отражая тем самым его продуктивность. В связи с этим в почвах, прежде всего влажной лесной зоны тропического пояса не происходит значительного накопления органико-минеральных веществ, они отличаются низким потенциальным плодородием. Растительность в таких условиях максимально в течение всего года реализует продукты разложения, что и выражается в интенсивном накоплении фитомассы.

В условиях стабильного и равного увлажнения прирост фитомассы увеличивается по мере повышения солнечной радиации независимо от фитоклиматического индекса сухости и смены географических поясов и растительных зон. Здесь даже в режиме лимита влаги, когда увлажнение, казалось бы, в любом режиме солнечной радиации должно полностью и в равной степени участвовать в приросте фитомассы, в действительности с повышением солнечной радиации (более южные широты) оно используется полнее, чем в высоких широтах.

Шестая закономерность изменчивости растительности отражает географический поясно- или радиационно-зональный темп нарастания фитомассы. Он сохраняется во всех режимах увлажнения и связан с различным притоком солнечной радиации на сферическую поверхность земного шара. Здесь растительность, через показатели прироста фитомассы отражает характер (темп) этих изменений, который независимо от условий увлажнения увеличивается от низких широт к высоким.

Выявленная зональная сопряженность фитомассы и климата позволяет оценить возможность получения повышенной растительной продукции за счет мелиорации, то есть изменения водно-теплового режима, используя адаптивную наследственно обусловленную норму реакции видов дикой и культурной флоры. Чем больше происходит изменение водного баланса, тем значительно изменяется видовой состав фитоценозов. По мере большего изменения среды обитания (влажности) первоначальный фитоценоз в результате естественного отбора изменится на другой, с набором видов, более соответствующих новым условиям.

Оценка особенностей формирования растительности и ее массы на фоне различного сочетания гидротермического режима позволяет прогнозировать изменение факторов климата по растительности или растительности по факторам климата, что бывает крайне важно, как в

социально-экономической жизни, так и в целом при определении биоэкологического состояния планеты.

Богатство почвы не является показателем нарастания фитомассы в зональном режиме. Главной причиной продуктивности фитоценозов служит фактор реализации органо-минеральных веществ, и связан он с потенциальным продуктивным режимом водно-радиационного баланса. В зональном спектре изменчивости этого показателя наблюдается, на первый взгляд, парадоксальное явление: чем плодороднее почва, тем ниже продуктивность фитоценоза. Самые высокие показатели нарастания фитомассы отмечены на относительно бедных почвах, но в условиях наибольшего потенциального продуктивного режима солнечной радиации и влажности, то есть в тропических дождевых лесах. По мере снижения водно-теплового баланса плодородие почвы закономерно повышается, а фитомасса снижается. И происходит это за счет не востребуемых элементов органо-минерального питания. Наиболее богатые почвы характерны экосистемам (биогеоценозам) лесной зоны (серые лесные почвы) и степям (черноземы) умеренного пояса Евразии, Северной и Южной Америки, а также тундре (торфяные почвы).

Зональные принципы количественной изменчивости фитомассы в соответствии с главными климатическими факторами могут послужить важными классификационными показателями растительности различного таксономического уровня – от зоны, типа и ниже. Закономерности взаимодействия фитомассы и климата, возможно, использовать и в биогеоценотической классификации, а также в практических целях при таксационных оценках в тундроводстве, лесоводстве, луговодстве и т.д., и в целом при землеустройстве.

Основным процессом, выражающим урожайность является фотосинтез. Недобор урожая зачастую обусловлен недостаточно быстрым нарастанием площади листьев, в результате чего посев не полностью реализует свои фотосинтетические возможности (І.Ф.Підпалій, С.Е.Амонс, 2004). Площадь листовой поверхности зависит от биологического вида, фазы развития, условий внешней среды. Размеры и темпы нарастания ассимиляционной поверхности растений клевера существенно зависят от норм высева покровной и подсевной культур и условий влагообеспеченности вегетационного периода. Для характеристики фотосинтетической работы посевов используют комплексный показатель - фотосинтетический потенциал, который характеризуется суммарной площадью листовой поверхности за весь вегетационный период. По данным (І.Ф.Підпалій, С.Е.Амонс, 2004) величина фотосинтетического потенциала травостоев клевера существенно изменяется в течение вегетации. В первые фазы развития она растет и развивается медленно, поэтому в эти фазы отмечены минимальные показатели фотосинтетического потенциала. Максимальные же величины фотосинтетического потенциала наблюдаются в фазе бутонизации- начала цветения, т.е. в наиболее продуктивной фазе развития растений. На первом

году использования клевера (второй год жизни) во всех случаях повышение нормы высева покровной культуры существенно уменьшало площадь листовой поверхности клевера. Максимальная величина фотосинтетического потенциала клевера лугового подпокровного посева наблюдается на травостоях первого года использования в период бутонизации- цветения при максимальной (10,0 млн. шт/га) норме высева семян покровной культуры и средней клевера лугового, в беспокровных посевах – в тот же период на втором году использования посева при норме высева 10,0 млн/га. При этом фотосинтетический потенциал посевов находится в границах 3,17-3,76 млн.м<sup>2</sup>дн./га.

Биомасса древесных растений формируется двумя основными процессами – компонентами цикла углерода: поглощением CO<sub>2</sub> в ходе фотосинтеза и его выделением при дыхании растений. Расчет фотосинтеза ведется обычно на единицу листа, поэтому углеродный баланс рассчитывают последовательно, начиная с углеродного баланса листа, затем дерева и, наконец, для целого древостоя (М.Д.Корзухин, и др., 2008).

**Углеродный баланс листа (М.Д.Корзухин, и др., 2008).** Скорость удельной нетто-ассимиляции листа ( $A_{netL}$ , мкмоль·м<sub>L</sub><sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>) равна

$$A_{netL} = A_{brutL} - R_L,$$

где  $A_{brutL}$  – брутто-ассимиляция;  $R_L$  – дыхание листы, состоящее из дневного  $R_{Lday}$  и ночного  $R_{Lnight}$  компонентов ( $\cdot L^{-2} \cdot s^{-1}$ ). Величины  $A_{brutL}$  и  $R_{Lday}$  могут быть вычислены по биохимической модели Фаркуара,  $R_{Lnight}$  – из дополнительных соображений. Для описания потока CO<sub>2</sub> в лист может быть использована модель устьичной проводимости P.G.Jarvis (1976), что дает в результате экофизиологическую модель ассимиляции листа. Модель в основном оперирует шестью метеорологическими факторами, влияющими на депонирование углерода: Q-интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР) (мкмоль·м<sub>L</sub><sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup>); T<sub>a</sub> – температура воздуха (°C); D – дефицит влажности воздуха (гПа); T<sub>s</sub> – температура почвы (°C); W<sub>s</sub> – запас доступной влаги в почве (мм); C<sub>a</sub> – концентрация CO<sub>2</sub> в воздухе (млн<sup>-1</sup>, принимают постоянной, равной 360 млн<sup>-1</sup>).

**Углеродный баланс дерева (М.Д.Корзухин, и др., 2008).** Затраты на дыхание дерева (R<sub>T</sub>) включают следующие компоненты: R<sub>L</sub> – дыхание листы (ночное и дневное); R<sub>FR</sub> – дыхание тонких корней; R<sub>G</sub> – дыхание роста; R<sub>M</sub> – дыхание поддержания неассимилирующей части фитомассы, включая тонкие корни ((гC)·м<sub>L</sub><sup>-2</sup>·сут<sup>-1</sup>).

Таким образом

$$R_T = R_L + R_{FR} + R_G + R_M.$$

Из-за трудностей измерения биомассы и дыхания тонких корней приближенно принимают, что масса тонких корней пропорциональна брутто-фотосинтезу, а их дыхание пропорционально массе, что дает  $R_{FR} = r_{FR} A_{brutT}$ ,  $r_{FR}$  – параметр, оцениваемый эмпирически. Дыхание

поддержания пропорционально массе неассимилирующих органов, приходящихся на массу проективной поверхности листа для  $1 \text{ м}_L^2$ :

$$R_M = r_M P_L [(M_{\text{con}} - M_L) / M_L],$$

где  $P_L$  - вес  $1 \text{ м}_L^2$  проекционной поверхности листовы  $((\text{гС}) \text{ м}_L^{-2})$ ;  $r_M$  - удельный коэффициент дыхания поддержания  $((\text{гС})(\text{гС массы})^{-1} \text{ сут}^{-1})$ ;  $M_{\text{con}}$  - масса всех проводящих органов, для которой определяется дыхание поддержания;  $M_L$  - масса листовы, дыхание поддержания которой учтено в  $R_L$ . Безразмерная величина

$$\mu = (M_{\text{con}} - M_L) / M_L$$

принята постоянной, равной 30. Дыхание роста принято брать пропорциональным  $A_{\text{netT}}$  (нетто-ассимиляция дерева).  $R_G = r_G A_{\text{netT}}$ , где  $r_G$  - коэффициент пропорциональности. Удельные коэффициенты дыхания  $r_{FR}$  и  $r_M$  зависят от  $T_a$  по закону Вант-Гоффа с соответствующими параметрами,  $r_G$  не зависит от  $T_a$ . Тогда уравнение баланса углерода дерева:

$$A_{\text{netT}} = A_{\text{brutT}} - R_L - r_{FG} A_{\text{brutT}} - r_G A_{\text{netT}} - r_M P_L [(M_{\text{con}} - M_L) / M_L],$$

$$A_{\text{netT}} = [A_{\text{brutT}} (1 - r_{FG}) - R_L - r_M (M_{\text{con}} - M_L) / M_L] (1 + r_G),$$

где  $A_{\text{brutT}} = A_{\text{brutL}}$  и  $R_L$  берутся из расчета удельного баланса листа.

#### **Углеродный баланс полога (М.Д.Корзухин, и др., 2008).**

Количество запасенного за год углерода находится из фундаментального уравнения баланса:

$$NPP = GPP - R_\Sigma,$$

где NPP (Netto Primary Production) - чистая первичная продукция или количество накопленного углерода,  $((\text{гС}) \text{ м}_s^{-2} \text{ год}^{-1})$ , индекс  $S$  - означает поверхность земли; GPP (Gross Primary Production) - количество поглощенного деревьями углерода,  $((\text{гС}) \text{ м}_s^{-2} \text{ год}^{-1})$ ;  $R_\Sigma$  - затраты на дыхание,  $((\text{гС}) \text{ м}_s^{-2} \text{ год}^{-1})$ .

NPP характеризует продуктивность всего древостоя. Величину годового углеродного баланса каждой породы определяют климатические характеристики территории. Для того, чтобы растение могло существовать в данном климате, его углеродный баланс должен быть положительным. Необходимо, также, чтобы ежегодный прирост органического вещества дерева позволял ему возобновлять листову и проходящие органы, обеспечивающие его жизнедеятельность. Поскольку часть листовы у хвойных деревьев, и вся у многих лиственных ( $\approx 1/5$  у ели,  $\approx 1/3$  у сосны, 1 у березы и т.п.) критическая величина прироста биомассы должна быть не менее массы обновляемой листовы плюс минимальная масса «обслуживающих» листову неассимилирующих органов (в общей массе годового прироста в плохих условиях роста она составляет около 45%). Необходимо также учитывать затраты углерода на дыхание при образовании новой массы, они составляют 25% от ее величины. Экспертно принято, что для своего существования дерево должно воспроизводить как минимум один квадратный метр листовы на один квадратный метр фотосинтезирующей листовы.



**Система удобрений в балансе биогенных веществ.** Реакция растений на каждый природный или антропогенный фактор подчиняется известной криволинейной зависимости, характерной для всех биологических систем, в пределах которой проявляется несколько характерных зон реакции растений (А.И.Осипов, О.А.Соколов, 2001). На основе анализа закономерности изменений продуктивности растений в широком интервале доз азотных удобрений, выделяют три типа реакций растений на количество внесенного азота, проявляющееся в изменении величины продукционного процесса и характера обмена веществ: кинетический, физиологический и метаболический. Первый тип реакции характерен при лимитирующем и нормальном обеспечении растений азотом, второй – при нормальном и оптимальном и третий – при избыточном (угнетающем). В кинетической зоне растения активно реагируют на увеличение концентрации азота, усиливаются ростовые процессы, дыхание, синтез белковых соединений, повышается их продуктивность с линейной зависимостью от применяемых доз удобрений. В физиологической зоне растения могут формировать максимальную продукцию, однако прирост сухого вещества от вносимых доз азота минимален. Физиологические изменения растительного организма в пределах этой зоны достигают предпаталогического состояния, подтверждением чего служит ухудшение многих показателей качества урожая в области максимальных его величин. Известно, что оптимум качества наступает при меньших дозах азота, которые необходимы для получения наибольшего урожая. Для зоны метаболического отклика характерно ограничение ростовых процессов, в растениях накапливаются промежуточные продукты метаболизма, значительная часть поглощенного азота нитратов не метаболизируется, снижается скорость образования хлорофилла и интенсивность фотосинтеза, нарушается обмен веществ и, как следствие, снижается продуктивность растений. Растения, произрастающие в условиях, вызывающих метаболическую норму реакции, подвержены различным болезням и вредителям, их продукция не отвечает технологическим и гигиеническим требованиям. Многие признаки метаболического типа отклика свойственны растениям, испытывающим острый дефицит того или иного элемента минерального питания.

Высокие дозы удобрений могут не повышать урожай, а наоборот, снижать его (Г.М.Господаренко и др., 2008), причиной чего может быть:

- 1) повышение концентрации почвенного раствора до токсичной – более 0,2%, что вызывает плазмоз клеток и завядание растений;
- 2) нарушение оптимального соотношения между элементами питания в растворе;
- 3) нехватка влаги в почве и  $\text{CO}_2$  в воздухе;
- 4) снижение освещения, и в свою очередь и фотосинтеза в результате самозатенения, которое возникает вследствие сильного роста;
- 5) повышение засоренности посевов.

Связь урожайности культур с содержанием гумуса на разных этапах интенсификации земледелия без применения минеральных удобрений была прямой и довольно тесной. В интенсивном земледелии она гораздо сложнее. При применении минеральных и органических удобрений и создании оптимальных параметров по влажности и кислотности высокие урожаи сельскохозяйственных культур можно получить и на малогумусных почвах.

Так, к примеру (А.И.Осипов, О.А.Соколов, 2001), зависимость урожая зерна ячменя от дозы азота (А) и В – содержания гумуса описывается следующей зависимостью, для почв легкого гранулометрического состава:

$$Y = -5,27 + 4,36A + 0,11B - 0,0003B^2, r^2 = 0,76,$$

для почв тяжелого гранулометрического состава:

$$Y = -1,57 + 1,97A + 0,069B - 0,0001B^2, r^2 = 0,96.$$

В условиях интенсификации земледелия питательные вещества в почве должны быть в количествах и соотношениях, обеспечивающих потребности растений в питании в течении всего периода развития для получения запланированного урожая.

Для создания оптимальных условий питания растений необходимо: 1) установить их потребность в питательных веществах (вынос на единицу урожая, интенсивность поглощения элементов питания в критические периоды их потребления и т.д.); 2) выяснить оптимальное для их роста и развития сочетание тепла и влаги, поскольку известно, что максимум биомассы на Земле наблюдается именно при оптимуме тепла и влаги, а не максимуме запасов гумуса; 3) уметь рассчитать баланс питательных веществ.

В природе за многовековой период функционирования сложились стабильные биогеохимические циклы вещества и энергии. Деятельность человека приводит к их перестройке, нарушает сбалансированность циклов изъятием или привносом отдельных компонентов круговорота. В агроценозах это изъятие товарной части продукции и привнос вещества и энергии в виде удобрений, агротехнических приемов и т.п.

Как известно, для естественных экосистем и агроэкосистем наблюдается ряд отличий в особенностях биогеохимических круговоротов.

В естественных ценозах круговорот веществ близок к замкнутому, поступление элементов с осадками и опадом практически равно биологическому поглощению элементов растениями. Замкнутость цикла обусловлена также наличием биологических барьеров из зеленых и сфагновых мхов, препятствующих выносу дефицитного элемента питания водами поверхностного стока за пределы экосистемы.

В агроценозе круговорот веществ характеризуется более выраженной незамкнутостью цикла по сравнению с природным ценозом, которая обусловлена 1) несбалансированностью поступления и выноса веществ; 2) образованием запасов нерастворимых соединений при взаимодействии минеральных удобрений с почвой, что приводит к низким коэффициентам

использования питательных веществ из удобрений. Кроме того, в агроэкосистемах существенно возрастает вынос веществ с водами поверхностного стока, особенно при развитии эрозии, что связано с отсутствием системы биологических барьеров. Варьирование величин потоков вещества в агроэкосистемах очень велико, т.к. они зависят от продуктивности агроэкосистем, уровня окультуренности почвы и применения удобрений.

Сравнение показывает, что функционирование природных экосистем, организация в них трофических связей по многим критериям значительно превосходят агроэкосистемы, созданные и регулируемые человеком.

В балансовых расчетах при оценке составляющих циклов элементов в настоящее время обязательно учитывают поступление элементов с осадками и выход элементов из биологического круговорота с поверхностным и внутрипочвенным стоком и при поступлении в виде газа в атмосферу (Дж.Гофман та ін., 2004) В естественных ценозах поступление элементов и их выход из биологического круговорота количественно близки. В агроценозах, в связи с внесением минеральных и органических удобрений, а также в связи с распашкой почвы вынос элементов с внутрипочвенным и поверхностным стоком в несколько раз превышает их поступление с осадками.

В основном, в уравнение баланса питательных веществ в земледелии входят следующие составляющие:

Приходная часть:

- 1) питательные вещества почвы, Гр;
- 2) внесение органических Уо и минеральных удобрений Ум;
- 3) поступление питательных веществ с посевами и посевным материалом, в среднем 3 кг/га, С;
- 4) поступление питательных веществ с атмосферными осадками, около 5 кг/га, А;
- 5) биологическая фиксация азота (бобовыми культурами и азотфиксирующими бактериями), до 5 кг/га, Б;
- б) пожнивные остатки, П.

Расходная часть:

- 1) вынос питательных веществ с урожаем сельскохозяйственных культур, Ву;
- 2) газообразные расходы, необменное поглощение, вымывание, около 50%, Г;
- 3) переход НРК из органических удобрений в состав гумуса почвы Ргум, вымывание Рв, газообразные потери Рг, до 65%,;
- 4) потери вследствие эрозии почв, 15-20 кг/га, Е.

Уравнение баланса питательных веществ в земледелии будет выглядеть следующим образом:

$Гр+Ум+Уо+С+А+Б+П-Ву-Г-Ргум-Рг-Е \rightarrow 0$  или  $\min(\max)$

Направление решения уравнения баланса зависит 1) от прихода тепла и влаги, характеризующих возможность растений расходовать

питательные вещества; 2) эродированности поверхности, характеризующей исходное состояние поверхности и т.п.

Система ограничений включает следующие уравнения:

$$U_m + U_o \geq V_u;$$

$$C \leq 3 \text{ кг/га};$$

$$A \leq 5 \text{ кг/га};$$

$$B \leq 5 \text{ кг/га};$$

$$G \leq 0,5P;$$

$$R_{гум} \leq 0,20(U_m + U_o);$$

$$R_{гум} + P_v + P_{г} \leq U_m + U_o;$$

$$E \leq 15-20 \text{ кг/га.}$$

$$\text{на } 1000 \text{ кг } U_o, U_m \leq 15 \text{ кг};$$

и т.п.

Например, баланс питательных веществ в опытных севооборотах (десятипольных зернопаропропашных) с различным насыщением зерновыми культурами подсчитал Е.М.Лебедь с соавторами (1999) (табл.3.25 и 3.26). В приходную часть баланса НРК включали поступление их с удобрениями, семенами, осадками. Количество питательных веществ, поступающих с семенами озимой пшеницы, кукурузы, ярового ячменя, подсолнечника составило: азота – 4, фосфора – 1,4, калия – 5 кг/га. Приход азота, фосфора и калия с дождевыми и тальными водами составил 1,5 кг/га, а связывание атмосферного азота в органической форме свободно живущими почвенными микроорганизмами - 5 кг/га (Е.М.Лебедь и др., 1999). В расходной части баланса учитывали только вынос питательных веществ урожаем культур севооборота. Возможные потери питательных веществ за счет вымывания в нижние горизонты почвы не учитывались.

**Таблица 3.25.** Чередование культур в севооборотах (Е.М.Лебедь и др., 1999)

№ севооборота			
6	8	13	15
Черный пар	Черный пар	Кукуруза на силос	Кукуруза на зеленый корм
Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница
Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница
Подсолнечник	Озимая пшеница	Кукуруза	Ячмень
Кукуруза	Кукуруза	Ячмень	Кукуруза
Овес	Ячмень	Озимая пшеница	Горох
Кукуруза	Кукуруза на силос	Кукуруза	Озимая пшеница
Кукуруза на силос	Горох	Горох	Кукуруза
Озимая пшеница	Озимая пшеница	Озимая пшеница	Кукуруза
Подсолнечник	Подсолнечник	Подсолнечник	Подсолнечник

Результаты исследований (Е.М.Лебедь и др., 1999) показали, что вынос азота и калия заметно превосходит в данных севооборотах (табл.3.26) вынос фосфора. На единицу выноса фосфора приходится 2,7-

3,4 единицы азота и 2,1-2,9 единицы калия. Независимо от структуры посева баланс азота во всех севооборотах был отрицательным, с возмещением выноса 73,7-85,3%, а фосфора – положительный (возмещается 148,0-175,3%). Баланс калия также был отрицательным. Наиболее значительным дефицитом азота и калия отмечались севообороты с высокой насыщенностью кукурузой и подсолнечником.

**Таблица 3.26.** Баланс основных питательных веществ в севооборотах (табл.3.25), кг/га за год (среднее за ротацию) (Е.М.Лебедь и др., 1999), чернозем обыкновенный малогумусный

№ севооборота	Элемент питания	Поступление	Расход	Баланс	Возмещение расхода, %
6	N	77,0	103,6	-26,7	74,4
8		86,3	101,2	-14,9	85,3
13		86,1	101,9	-15,8	84,5
15		85,2	109,6	-22,4	73,7
6	P	55,6	33,4	+22,2	166,5
8		56,1	32,0	+24,0	175,0
13		56,1	34,3	+21,7	163,3
15		55,8	37,7	+18,1	148,0
6	K	58,4	91,8	-33,4	63,7
8		58,8	80,2	-21,4	73,7
13		58,8	84,1	-25,3	70,0
15		58,6	92,4	-33,8	63,4

Процесс компенсации расходных звеньев в агроценозах сложен. Он не решается простым сложением или вычитанием. Растения не используют на 100% вносимые удобрения (табл.3.22-3.23, 3.29-3.30). Дозу их приходится увеличивать по сравнению с выносом. При этом часть элементов питания выходит из биологического круговорота: надолго закрепляется в почве или поступает в атмосферу и гидросферу. Процесс использования питательных элементов и выход их из биологического круговорота часто сопровождается накоплением в почве и вовлечением в биологический круговорот сопутствующих, часто нежелательных элементов, компонентов вносимых удобрений.

Выбор видов и форм удобрений с учетом биологических особенностей растений и физико-химических свойств почвы, гидротермической характеристики зоны, является важным условием эффективного их использования. При выборе видов удобрений учитывается содержание того или иного питательного вещества в почве, обеспечения растений питательными веществами, реакция химических соединений, которые содержатся в удобрениях, их возможные потери.

Система удобрения отдельных культур при их чередовании в севообороте – это план применения органических и минеральных удобрений, а также химических мелиорантов, обеспечивающей получение высоких урожаев сельскохозяйственных культур хорошего качества при

расширенном воспроизводстве плодородия почвы. Она должна быть, как и система земледелия в целом: 1) биологической, 2) технологической, т.е. её необходимо систематически совершенствовать и корректировать в зависимости от изменения плодородия почв, имеющихся ресурсов средств химизации в хозяйстве, внедрения новых высокопродуктивных сортов и технологических приемов, а также требований охраны окружающей среды.

При построении системы удобрений необходимо планировать внесение удобрений в первую очередь и в полном объеме под культуры, возделываемые по интенсивным технологиям.

В севооборотах, насыщенных техническими, кормовыми и овощными культурами, следует предусматривать высокую обеспеченность органическими удобрениями.

При разработке системы удобрения необходимо учитывать (Основы экономики..., 1988) 1) порядок чередования культур; 2) особенности предшественника и его урожайность, а 3) также комплекс агротехнических приемов, обеспечивающих высокую эффективность вносимых удобрений.

Обоснование и разработка системы удобрения в севообороте состоит из двух основных этапов. На первом устанавливают общую потребность сельскохозяйственных культур, возделываемых в севообороте, в удобрениях, обеспечивающих заданную продуктивность и расширенное воспроизводство плодородия почв. На втором этапе, исходя из рассчитанной потребности, распределяют удобрения между отдельными культурами при их чередовании в севообороте.

Потребность сельскохозяйственных культур в питательных веществах в целом по севообороту устанавливают в следующем порядке (Основы экономики..., 1988):

1. Рассчитывают вынос элементов питания из почвы с планируемым урожаем сельскохозяйственных культур.

2. По данным выноса питательных веществ с планируемыми урожаями и коэффициентом их возмещения устанавливают общую потребность сельскохозяйственных культур севооборота в элементах питания.

Коэффициенты возмещения питательных веществ в севооборотах устанавливают по данным длительных опытов с удобрениями.

Между отдельными культурами севооборота удобрения распределяют в соответствии с дозами, рассчитанными, исходя из уровня планируемой урожайности, биологических и сортовых особенностей возделываемых культур, агрохимических свойств почв и ресурсов удобрений. В табл.3.27 представлено оптимальное содержание основных элементов минерального питания. Основные составные макроэлементы NPK – азот, фосфор, калий, магний, кальций, сера. В табл.3.28 показаны функции, выполняемые удобрениями в почве и растениях.

В табл. 3.23, 3.29-3.30 представлена информация по выносу питательных веществ растениями.

**Таблица 3.27.** Оптимальное содержание основных элементов минерального питания в озимых культурах, % на сухое вещество (по В.Ф.Сайко и др., 1989)

Элемент	Озимая пшеница			Озимая рожь		
	кущение	выход в трубку	колошение	кущение	выход в трубку	колошение
N	4,5-5,5	4,6-5	3,1-4,5	4-5	3,5	2,2-3,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,55-0,6	0,45-0,5	0,35-0,45	0,52-0,65	0,35	0,26-0,3
K <sub>2</sub> O	3,5-4,2	2,8-3,4	2,4-2,8	5	2,9	1,9-2,6

Наблюдается увеличение урожая сельскохозяйственных культур при применении микроэлементов. Микроэлементы играют важную роль в борьбе с грибковыми и бактериальными болезнями растений. Например, под влиянием меди повышается устойчивость картофеля к фитофторозу, бор предотвращает заболевание бактериозом, а сахарную свеклу защищает от сердцевинной гнили.

Исследования Н.Т.Шатохиной (1979) на черноземах обыкновенных Барабы показало, что для агроценоза с посевами пшеницы ведущими элементами являются (Si, N, K), а для луговой степи (Si, Ca, N), что связано с наличием в траве луговой степи богатых кальцием бобовых и разнотравья. Тут также имеет значение преобладание в естественном фитоценозе продукции подземных органов, более бедных калием, чем надземные.

Потребление тех или иных элементов растениями зависит от фазы развития и физиологической функции элементов. Основная доля большинства элементов поглощается в период кущения (Н.Т.Шатохина, 1979). Азот и фосфор поглощаются пшеницей до молочно-восковой спелости, Ca, Mg, Si, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – до конца вегетации. Часть веществ возвращается в почву : 1) при отмирании и разложении надземных и подземных органов вегетирующих растений, 2) с пожнивными и корневыми остатками после уборки урожая, 3) с прижизненными корневыми выделениями, 4) при вымывании осадками из надземных органов. Во влажные годы калия возвращается в почву в 2 раза больше, чем в засушливые (Н.Т.Шатохина, 1979).

Определение оптимальных доз удобрений основывается главным образом на данных полевых опытов и агрохимических исследований почв и растений. Дозы устанавливаются по результатам действия удобрений в полевых опытах с применением соответствующих поправок, вытекающих из агрохимической характеристики почвы, а также на основе использования математической связи между урожаем и содержанием питательных веществ в почве.

Таким образом, оптимальные дозы удобрений определяют на основе экспериментальных данных, нормативных и балансовых, а также экономико-математических методов.

**Таблица 3.28.** Функции, которые выполняют некоторые удобрения  
([http://www.bela-nova.com.ua/?page\\_id=54](http://www.bela-nova.com.ua/?page_id=54))

Физиологическая роль	Признаки дефицита	Признаки избытка	Культуры	Почвы, на которых наблюдается дефицит элемента
1	2	3	4	5
<b>Азот</b>				
Принимает участие в образовании белков, витаминов	Ослабляется рост боковых побегов. Листки, стебли и плоды уменьшаются в размере, листки становятся бледно-зелеными или желтоватыми. При длительном недостатке бледно-зеленый цвет листьев становится оранжевым и красным, листья высыхают и преждевременно опадают, что ограничивает образование плодов, снижает урожай и ухудшает его качество	Корнеплоды перерастают в ботву, злаковые вылегают, в корнеплодах снижается содержание сахаров, в картофеле крахмала, в овощных и бахчевых культурах накапливаются нитраты	Бахчевые культуры и картофель	Дерново-подзолистые, особенно песчаные и супесчаные
<b>Фосфор</b>				
Способствует повышению зимостойкости растений, убыстряет их развитие и созревание, стимулирует плодоношение, способствует интенсивному нарастанию корней и повышает засухоустойчивость	Замедляется развитие растений и их созревание, снижается урожай и его качество. Листья становятся сначала по краям, а затем по всей поверхности серо-зелеными или красно-фиолетовыми. У плодовых культур побеги становятся тонкими, листья приобретают бронзовый оттенок и преждевременно опадают	Негативно влияет на, доступность железа, цинка и других микроэлементов	Все виды капусты, огурцы, тыква, ревеня, сельдерей, поздняя морковь	Подзолистые
<b>Калий</b>				



1	2	3	4	5
Поддерживает водный режим способствует образованию сахаров и их накоплению, повышает морозо – и засухоустойчивость, снижает поражение болезнями	Края листков буреют, приобретая обожженный вид, на пластинках появляются мелкие ржавые точки, листок становится гофрированным или куполоподобно закрученным, на листьях картофеля образуется характерный бронзовый налет	У растений образуются укороченные цветоносы, старые листья быстро желтеют, ухудшается цвет цветков. Ухудшаются усвоение магния и кальция	Картофель, все виды капусты, огурцы, тыква, сельдерей, ревеня, поздняя морковь, помидоры	Песчаные и супесчаные.
Магний				
Входит в состав хлорофилла принимает участие в углеводородном обмене, действии ферментов и образовании плодов	Между жилками на листке образуется хлороз, они остаются зелеными, их цвет напоминает елку, а при остром недостатке наблюдается скручивание и пожелтение. У плодных растений наблюдается ранний листопад и опадение плодов	Усиливается дефицит кальция, калия и железа.	Картофель свекла, зернобобовые культуры и травы	Песчаные и супесчаные грунты с повышенной кислотностью
Кальций				
Влияет на обмен углеводов и белковых веществ, а также на обеспечение нормальных условий развития корневой системы растений	Влияет на обмен углеводов и белковых веществ, а также на соединения, которые используются проростками, что может привести к гибели растения. Замедляется рост молодых листьев, проявляется хлоротичная пятнистость, потом они желтеют и преждевременно отмирают, задерживается рост корней	Связываются соединения железа и становятся недоступными для растений.	Фасоль, клевер, люцерна, горох	Кислые песчаные и супесчаные
Сера				

1	2	3	4	5
Входит в состав аминокислот, витаминов (биотин и тиамин) и других соединений, которые принимают участие в метаболизме клеток растений	Подавляется фотосинтез и возникает хлороз листьев. По общим признакам похоже на проявление дефицита азота: молодые листья равномерно желтеют, а жилки приобретают пурпурный оттенок. Постепенно теряют цвет и старые листья	Листья постепенно желтеют по краям и заворачиваются внутрь. Потом буреют и отмирают	Зерновые культуры	Дерново-подзолистые, легкие, мало гумусные
<b>Железо</b>				
Входит в состав ферментов, а также принимает участие в синтезе хлорофилла, дыхании и обмене веществ	Нарушается образование хлорофилла, в результате чего, на листе проявляется хлороз. У растений задерживается синтез ростовых веществ ауксинов	Снижается обеспеченность растений марганцем, цинком, медью, молибденом, фосфором	Плодовые, виноград, бобовые, кукуруза, помидоры, декоративные растения	Карбонатные почвы и почвы с высоким содержанием усвоенных фосфатов
<b>Бор</b>				
Способствует усилению прорастания пыльцы, увеличению количества цветков и плодов. Регулирует количество фитогормонов – ауксинов и фенолов, руководит общим линейным ростом тканей	Нарушается синтез, превращение и перемещение углеводов, формирование репродуктивных органов, оплодотворение (стерильность) и плодоношение растений. У плодовых наблюдается скручивание и опадение верхних листков. Иногда на плодах проявляются (внутри и на поверхности) водянистые язвы, которые потом буреют и твердеют, при этом плоды приобретают характерный горьковатый привкус. Повышается поражение грибковыми, бактериальными и вирусными заболеваниями	Края нижних листьев приобретают коричневый цвет. Потом между жилками появляются коричневые пятна и листья опадают	Корнеплоды, подсолнух, бобовые культуры, лен, картофель, овощные культуры, конопля, эфирно-масличные и зерновые культуры	Известняковые, дерново-подзолистые, суглинистые, глинистые, серые лесные, заболоченные, почвы легкого гранулометрического состава, торфяники
<b>Марганец</b>				

1	2	3	4	5
Способствует увеличению содержания хлорофилла в листьях, синтезу аскорбиновой кислоты и сахаров, улучшает отток сахаров из листьев в запасящие органы. Регулирует водный режим, повышает стойкость к неблагоприятным условиям и убыстряет плодоношение	Нарушается соотношение элементов минерального питания в питательном балансе. Характерным симптомом такого нарушения есть точечный хлороз листьев, у злаковых появляется «серая пятнистость», у столовых, сахарных и кормовых свекл и шпинате «пятнистая желтуха», у гороха «болотная пятнистость», у плодовых хлороз старых листьев, особенно сильный в груше и вишне	В клетках растения уменьшается содержание хлорофилла, потому симптомы такие же, как и при дефиците магния: начинается межжилковый хлороз, появляются бурые некротические пятна, листья сморщиваются и опадают	Свекла и другие корнеплоды картофеля, злаковые яблоня, черешня груша, вишня, малина, горох, овес, помидоры, редис. капуста	Серые лесные, солончаковые каштановые, слабо щелочные черноземы, а также на сильные известняки с рН от 6 до 8
<b>Медь</b>				
Регулирует фотосинтез и концентрацию ингибиторов роста, которые образуются в растении, водный обмен и перераспределение углеводов. Входит в состав ферментов, повышает стойкость к вылеганию и способствует их морозо-, жаро- и засухостойкости	Задерживается рост и цветение, появляется хлороз листков, потеря тургора клеток и увядание растений. При остром дефиците меди у злаковых растений отмечается обеление кончиков листьев, недоразвитие колоса, избыточная кустистость (у овса ячменя, свеклы, лука и бобовых), у плодовых «суховершинность» и несвойственный в этот период, рост боковых побегов	Ограничивает поступление железа в растение	Пшеница, ячмень, овес, лен, кукуруза, морковь, свекла, лук, шпинат, люцерна, капуста белокочанная	Дерново-подзолистые, торфяники, карбонатные осушенные почвы болот
<b>Цинк</b>				

1	2	3	4	5
Принимает участие в белковом, углеводородном, фосфорном обмене, биосинтезе витаминов и ростовых веществ (ауксинов) повышает морозоустойчивость растений	Задерживается образование сахарозы, крахмала и ауксинов, нарушается образование белков, в результате чего в них накапливаются небелковые соединения азота и нарушается фотосинтез. Подавляется процесс деления клеток, в результате чего деформируются и уменьшаются листки, подавляется рост растения. У кукурузы отмечается обеление или хлороз верхних листков, у томатов скручивание листьев и черешков	На нижних листьях растения, вдоль главной жилки, появляются водяные прозрачные пятна. Спустя некоторое время, проявляется некроз, и листья опадают	Гречиха, хмель, свекла, картофель, лен, клевер, кукуруза, яблоня, груша, виноград	Гречиха, хмель, свекла, картофель, лен, клевер, кукуруза, яблоня, груша, виноград
<b>Молибден</b>				
Входит в состав ферментов, которые регулируют азотный обмен в растениях, участвует в синтезе нуклеиновых кислот и витаминов. Регулирует фотосинтез и дыхание. Играет роль в усвоении атмосферного азота бобовыми и овощными культурами	В тканях растений накапливаются нитраты. Подавляется рост растения, листья приобретают бледно-зеленый цвет, деформируются и преждевременно отмирают	Изменяется цвет листьев	Соя, зерновые, бобовые культуры, клевер, многолетние травы	Кислые, дерново-подзолистые, серые лесные, песчаные и супесчаные почвы, осушенные, кислые торфяники, черноземы

Рекомендуют корректировать дозы азотных удобрений по наличию нитратного азота в почве после уборки урожая осенью или ранней весной. Потребность в удобрениях в этом случае рекомендуется рассчитывать по двум формулам (Основы экономики..., 1988):

$$N = (B - PK_{п}) : K_{у},$$

где В – вынос азота с планируемым урожаем; П – содержание в пахотном горизонте подвижного азота;  $K_{п}$ ,  $K_{у}$  – коэффициенты использования растениями подвижного азота почвы и азота удобрений;

$$N = (U_{п}B - N_{м}K_{п} - N_{тм}) : K_{у},$$

где  $U_{п}$  – планируемая урожайность; В – вынос азота с тонной зерна;  $N_{м}$

**Таблица 3.29.** Вынос питательных веществ урожаем основных культур (<http://td-agrohim.com.ua/article/30.html?task=view>) \* Вынос приводится на 1 т товарного урожая зерна, сена и на 10 т корнеклубнеплодов и силосной массы с соответствующим количеством нетоварной массы (соломы, ботвы и пр.). Данные по выносу могут значительно отклоняться от указанных средних величин.

Культура	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Вынос 1 т товарного урожая (в кг)			
Озимая пшеница	37	13	23
Рожь	31	14	26
Яровая пшеница	47	12	18
Ячмень	29	11	20
Овес	33	14	29
Кукуруза на зерно	34	12	37
Просо	33	10	34
Гречиха	30	15	40
Сахарная свекла	6	2	7
Картофель	6	2	14
Клевер (на сено)	20	6	15
Вынос на 10 т товарного урожая (в кг)			
Сахарная свекла	60	20	70
Картофель	60	20	140
Кукуруза на силос	25	15	50

– запас минерального азота в почве перед посевом; N<sub>тм</sub> – текущая минерализация азота; K<sub>п</sub>, K<sub>у</sub> – коэффициенты использования растениями азота почвы и удобрений.

Однако эти методы являются приближенными, и истинной картины потребности растений в питании они не дают, т.к. ещё недостаточно изучены механизмы взаимодействия различных факторов, формирующих урожай. К примеру, в табл.3.31 представлены рекомендуемые нормы удобрений для дерново-подзолистых почв, образовавшихся на маломощных водно-ледниковых супесчано-песчаных отложениях, подстилаемых карбонатной и безкарбонатной мореной (В.В.Розанов, 2008). В табл.3.32 показаны нормы удобрений в разных севооборотах.

При применении удобрений возникают некоторые неблагоприятные эффекты:

- 1) загрязнение верхних слоев почвы потенциально опасными тяжелыми металлами, галогенами, радионуклеидами и т.п.;
- 2) изменение кислотно-основных свойств почвы при применении минеральных удобрений;
- 3) влияние на биологическую активность почвы;
- 4) активизация процессов миграции токсичных и биогенных элементов в горизонтальном и вертикальном направлениях;
- 5) ухудшение качества растительной продукции и др.

**Таблица 3.30.** Коэффициенты использования питательных веществ из почвы и минеральных удобрений основными сельскохозяйственными культурами в Украине (Довідник з агрохімічного..., 1994)

Культура	Экономический район, зона	Коэффициент использования питательных веществ из почвы, %		Коэффициент использования питательных веществ из удобрений, %		
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O	
Озимая пшеница	По Украине			32,7	11,8	31,1
	Донецко-Приднепровский			27,8	10,8	35,1
	Лесостепная	10,7	21,4	29,0	12,2	32,2
	Степная	13,7	20,6	27,2	10,2	36,8
	Юго-Западный			37,2	12,7	25,1
	Лесолуговая	16,9	14,9	31,6	10,4	19,4
	Лесостепная	13,4	30,8	41,4	14,3	30,0
	Южный					
Озимая рожь	Юго-Западный	8,7	20,7	43,2	17,9	39,0
	Лесолуговая	8,5	17,5	44,8	19,0	39,7
	Лесостепная	8,7	24,9	35,7	14,0	36,5
Яровой ячмень	По Украине	8,8	16,8	30,0	11,3	29,4
	Донецко-Приднепровский	8,8	15,2	27,3	9,6	30,7
	Лесостепная	7,6	17,0	19,0	8,3	31,0
	Степная	9,3	14,5	30,4	10,1	30,6
	Юго-Западный	8,8	18,4	32,8	13,1	28,0
	Лесолуговая	8,5	14,2	30,7	13,3	22,8
	Лесостепная	9,1	22,2	34,6	12,9	32,5
Овес	Юго-Западный	9,6	28,2	32,1	17,6	46,6
Кукуруза на зерно	По Украине	9,5	20,7	26,8	10,2	29,0
	Донецко-Приднепровский	10,5	20,6	27,3	9,5	29,0
	Лесостепная	9,1	27,1	25,7	8,4	25,1
	Степная	11,2	17,2	28,2	10,1	31,0
	Юго-Западный	11,9	31,6	33,3	17,0	38,8
	Лесолуговая	16,6	38,1	47,7	25,8	57,5
	Лесостепная	11,7	31,1	32,7	16,6	38,0
	Южный					
Просо	Донецко-Приднепровский	7,0	29,2	37,2	11,3	73,2
	Южный					
Гречиха	По Украине	4,4	19,6	35,4	8,8	42,9
Лен	По Украине	4,6	10,8	34,8	6,4	17,3
Подсолнечник на зерно	По Украине	8,3	52,3	25,2	8,7	75,6
	Донецко-Приднепровский	9,5	44,1	25,3	9,0	72,5
	Южный	9,2	27,0	25,6	8,3	100

**Таблица 3.31.** Рекомендуемые дозы удобрений для получения планируемой урожайности сельскохозяйственных культур (В.В.Розанов, 2008)

Культура	Планируемая урожайность, ц/га	Тип почвы	Удобрения, кг/га			
			азотные	калий-ные	фосфорные	Органические (навоз), т/га
Рожь, пшеница	25	Аллювиальные (пойменные)	70	70	40	40
		Агродерново-подзолистые на залежах	85	90	60	40
Ячмень	30	Аллювиальные (пойменные)	75	80	60	-
		Агродерново-подзолистые на залежах	90	100	80	-
Овес	25	Аллювиальные (пойменные)	80	80	50	-
		Агродерново-подзолистые на залежах	90	100	70	-
Гречиха	8	Аллювиальные (пойменные)	50	60	40	-
		Агродерново-подзолистые на залежах	60	80	60	-
Картофель	200	Аллювиальные (пойменные)	120	140	80	60
		Агродерново-подзолистые на залежах	120	160	120	60
Корне-плоды	200	Аллювиальные (пойменные)	130	140	100	60
		Агродерново-подзолистые на залежах	130	160	130	60

Изменения, происходящие в почве, приводят к определенным нарушениям в смежных компонентах агроэкосистемы. Через почву удобрения непосредственно влияют на физиологические процессы в растениях, что становится причиной ухудшения их гигиенического качества. Они также активизируют процессы миграции, что приводит к ухудшению качества подземных вод, а также поверхностных вод с влиянием на экотоксикологическое состояние водных экосистем.

Проблема еще лежит в том, что из оптимальных доз удобрений растениями используются в зависимости от типа почвы и растений от 50 до 60%. Другая их часть или поглощается почвой, или вымывается. Уменьшение же доз удобрений приводит к уменьшению урожайности, то есть именно за счет влияния удобрений на почву, разрушение в нем некоторых связей достигается оптимум урожая. Удобрения усиливают

**Таблица 3.32.** Нормативы ориентировочно-оптимального насыщения севооборотов органическими и минеральными удобрениями в разных почвенно-климатических зонах Украины (Довідник по удобренню..., 1987, В.Ф.Сайко и др., 1990)

Зона	Преобладающий тип почв	Севооборот		Оптимальный уровень органических удобрений	Ориентировочно оптимальный уровень, кг/га д.в.			
		тип	К-во полей		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	вместе
Закарпатская низменность	Дерновые оподзоленные	картофельно-зерно-травяной	7	12	110	90	85	285
Полесье	дерново-подзолистые	Тоже	7	15	80	60	70	210
Тоже	тоже	Тоже	9	16	70	65	75	210
Правобережная и западная Лесостепь	черноземы типичные выщелоченные	Зерно-свекольно-травяная	10	12	70	75	80	225
Центральная лесостепь	тоже	Паро-зерно-свекольно-травяная	10	12	53	60	60	173
Левобережная Лесостепь	чернозем типичный	тоже	10	10	45	45	45	135
Тоже	тоже	почвозащитный	7	14	37	50	47	134
Северная Степь	чернозем обыкновенный	Паро-зерно-свекольно-подсолнечниковая	10	8	52	62	46	16
Центральная Степь	чернозем обыкновенный неглубокий малогумусный	паро-зерно-подсолнечниковая	10	10	45	45	26	116
Южная Степь	тоже	паро-зерно-подсолнечниковая-травяная	10	8	35	41	23	99



миграционную способность некоторых соединений в почве.

В связи с выше сказанным, приобретают особую актуальность опыты по экстракции веществ из почвы при разработке методов определения состава почв. В табл.3.33 приведена выборка информации по концентрациям и составу растворителей и их выщелачивающему воздействию на почвы.

Внесение удобрений может существенно повысить содержание агрессивных веществ в склоновых водах. Так, на участке с озимой пшеницей (площадь участка 100 м<sup>2</sup>) без внесения удобрений при талом стоке содержание NH<sub>4</sub>+NO<sub>3</sub> составил 2,2-2,7 мг/дм<sup>3</sup>, а при внесении аммиачной селитры он увеличился до 957 мг/дм<sup>3</sup> (М.С.Кулик и др., 1974). Кроме того, вместе с удобрениями вносятся также сульфаты и хлориды, что способствует повышению агрессивных свойств воды и, как следствие, её разрушающего действия.

Внесение удобрений (В.Г.Нестеренкова и др., 1986) также вызывает уменьшение содержания в почве кальция, магния, натрия, фосфора и гумуса. В работе (А.Л.Филипов и др., 2001) указывается, что повышение обеспеченности почвы азотом удобрений резко усиливает выщелачивание щелочноземельных элементов из почвы. Фосфор и микроэлементы практически не вымывались. По (Э.М.Турбас и др., 1973) потери оснований мало зависят от разновидности почв, но заметно возрастают после внесения навоза, а также под действием кислых минеральных удобрений. Согласно (К.И.Сонина и др., 1977), под влиянием сульфата аммония в лизиметрических водах резко повышалось содержание сульфатов и более чем в 2 раза кальция и магния. Натриевая селитра способствовала увеличению вымывания натрия, хотя и не сильно. Потери калия были незначительны. Хлора вымывалось мало, особенно при внесении азотных удобрений, в то время как по фону РК+известь потери увеличивались в 1,5-2 раза. Сульфат аммония способствовал большему выносу кальция из почвы, чем натриевая селитра, в меньших размерах, но с той же закономерностью вымывался и магний.

Под влиянием аммиачной воды (О.М.Вишинский, М.П.Закіркова, 1966) уменьшается сумма обменных оснований и степень насыщенности почвы основаниями, резко увеличивается содержание водорастворимых форм гумуса.

В результате внесения фосфорных удобрений (В.Н.Кудеяров и др., 1984) увеличивается растворимость полуторных окислов. Полифосфаты усиливают миграцию кальция, марганца, цинка и углерода.

Границы агрессивности действия водных растворов на почвы пока что не установлены. Ориентировочное представление о их величинах можно получить при экстраполяции величин агрессивности воды относительно бетонов в зависимости от водонепроницаемости, то есть считая, что при полной водопроницаемости эти характеристики будут близки к почвенным.

**Таблица 3.33.** Выщелачивающее действие растворителей различного состава и концентраций на почвы

Растворитель	Концентрация	Почва	Действие	Источник
1	2	3	4	5
$\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$	>0,075m	чернозем	полностью растворяет молекулы гуминовых кислот, гумат Ca, Al и Fe-гуминовые соединения	Л.Н.Александрова, 1960
HCl	0,2m		полное вытеснение катионов из ППК и частичное разрушение почвенных фосфатов и др. минералов	А.В.Пуховский, 2000
	0,01m		переходит в вытяжку наиболее подвижная часть фосфатов	
	0,5n		растворяет фосфорит, апатит, фосфаты алюминия, $\text{FePO}_4$ , и часть более основных фосфатов железа, а также фитин	А.В.Петербургский, 1968
$\text{H}_2\text{O}_2$	5%	чернозем и дерново-	снижает содержание органического вещества на 60-62%	В.Г.Нестеренкова, 1986
	30%	подзолистая	снижает содержание органического вещества на 67-72%	
$\text{H}_2\text{SO}_4$	0,1n	дерново-аллювиальная	растворяет аморфный и частично окристаллизованный $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\gamma\text{-FeOOH}$ , $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ , $\alpha\text{-FeOOH}$	Г.В.Мотузова, 1991
$\text{NH}_4\text{OH}$	120 кг N/га	чернозем	резко увеличивает содержание растворенного органического вещества (до 300%), заметно увеличивает содержание подвижных форм фосфора, калия, а также мобилизует часть почвенного азота, усиливает продуцирование углекислоты	А.И.Зражевский, А.И.Серый, 1969
	3,0n		выщелачивает нуклеины, нуклеопротеиды и им подобные соединения гуминовой кислоты	А.В.Петербургский, 1968
$\text{HNO}_3$	360 кг/га N	степной целинный солонец	карбонат кальция переходит в бикарбонат и интенсивно выщелачивается, выщелачивается натрий	Г.А.Славцова, 1973
$\text{K}_2\text{CO}_3$	120 кг д.в./га в год (вносилось 6 лет)	чернозем типичный	увеличение содержания водорастворимого гумуса и подвижного органического вещества. приводит к диспергации почвы, увеличивает активность аммония и кальция	Філон В.І., 2001
$\text{K}_2\text{SO}_4$			усиливает активность ионов аммония и кальция	
KCl				
$(\text{NH}_4)\text{SO}_4$ + $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$	1% + 0,25%		выщелачивает фосфаты щелочных металлов и аммония, кислые и свежесаждаемые фосфаты кальция и магния фосфаты железа (II) типа вивианита – частично	Агрохимические методы..., 1975

Конечно, состав бетона и его плотность отличаются от состава и плотности почв, но под действием кислот и углекислоты содержащихся в воде он постепенно приобретает состав, свойственный почвам, увеличивается содержание кремния и уменьшается кальция (С.Н.Алексеев

и др., 1990). При экстраполяции исходили из принципа, что процесс фильтрации носит не линейный характер и водопроницаемость есть обратная функция водонепроницаемости. В этом случае величина рН не агрессивной воды должна быть выше 8, содержание магниевых солей в пересчете на  $Mg^{2+}$  должно быть менее  $340 \text{ мг/дм}^3$ , содержание аммонийных солей в пересчете на  $NH_4^+$ , должно быть менее  $20 \text{ мг/дм}^3$ , содержание едких щелочей в пересчете на ионы  $Na^+$  и  $K^+$  должно быть менее  $30 \text{ г/дм}^3$ , суммарное содержание хлоридов, сульфатов, нитратов и др. солей – менее  $2 \text{ мг/дм}^3$ .

Исследования ирригационных вод (О.А.Алекин и др., 1967 и др.) показывают, что содержание в них  $NH_4^+$  может достигать  $28 \text{ мг/дм}^3$  и выше, что в 1,5 раза превышает ориентировочные границы не агрессивности воды по отношению к почве. Кроме этого с удобрениями также вносятся  $SO_4^{2-}$  и  $Cl^-$ , что способствует повышению агрессивных свойств воды и, как следствие, её разрушающего действия.

Усиление выхода органических соединений не может не оказать воздействия на выход других веществ в силу своей высокой активности (Г.Н.Данилова, 1967).

Нами (С.В.Будник, 2002) проводились исследования влияния растворов удобрений различных концентраций на выщелачивание веществ из чернозема типичного на легком суглинке и серой лесной почвы на лессе в период снеготаяния. Исследовался слой почвы на глубину оттаивания и при естественной влажности. Вытяжки из почвы готовили на воде полученной при таянии снега, т.е. условия опыта приближали к реальным условиям, формирующимся на склоне при снеготаянии. В результате получено следующее (табл.3.34). При действии на почву раствора сульфата аммония в дозе более  $20 \text{ мг/дм}^3$  выход аммония в вытяжку резко увеличивается, что говорит о том, что поглощение ионов аммония остается на уровне более низких концентраций воздействия, т.е. дополнительного поглощения аммония почвой не происходит. При действии на почву раствора хлорида калия увеличение выхода аммония в вытяжку практически прекращается для чернозема типичного уже при  $0,5 \text{ мг/дм}^3$   $KCl$ , а для серой лесной – при  $5,0 \text{ мг/дм}^3$   $KCl$ . Аммиачная вода даже в самых малых дозах ( $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) вызывает значительный выход аммония из почвы, вероятно за счет расщепления органики, причем серые оподзоленные почвы подвергаются более сильному разрушению при действии аммиачной воды, чем черноземы. Выход нитратов при действии растворов сульфата аммония при концентрациях более  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  замедляется, то же наблюдается и при действии аммиачной воды, в последнем случае только при концентрации  $NH_4OH > 50 \text{ мг/дм}^3$  выход  $NO_3^-$  повышается снова. Растворы хлорида калия в концентрациях более  $50 \text{ мг/дм}^3$  вызывают увеличение содержания нитратов в черноземе, в то время как в серой лесной почве выход нитратов в зависимости от концентраций растворов  $KCl$  практически не меняется. Это объясняется отсутствием прочной фиксации нитратов почвами. На выход кальция

**Таблица 3.34.** Дозы удобрений, при которых наблюдалось увеличение выхода химических соединений из почвы. В скобках указано с какой концентрации по какую произошло повышение выхода веществ в вытяжку

Хим. соединение	Почва	Растворитель		
		KCl (K <sup>+</sup> - 51,8%, Cl <sup>-</sup> - 48,2%)	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 27,3%, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> - 72,7%)	NH <sub>4</sub> OH (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> - 51,5%, OH <sup>-</sup> - 48,5%)
1	2	3	4	5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥0,5мг/дм <sup>3</sup> (1,4-3,6мг/дм <sup>3</sup> )	≥20 мг/дм <sup>3</sup> (0,9-7,2мг/дм <sup>3</sup> )	≥0,5мг/дм <sup>3</sup> (1,4- 2475мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	≥5,0мг/дм <sup>3</sup> (1,8-2,7 мг/дм <sup>3</sup> )	≥20 мг/дм <sup>3</sup> (1,8-8,1 мг/дм <sup>3</sup> )	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (1,8-5949 мг/дм <sup>3</sup> )
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥50мг/дм <sup>3</sup> (0,34-4,61 мг/дм <sup>3</sup> )	≤0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,55-1,5 мг/дм <sup>3</sup> )	≤ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,2-1,8 мг/дм <sup>3</sup> ) и ≥50 мг/дм <sup>3</sup> (0,12-1,4 мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	не влияет	≤ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,5-0,75 мг/дм <sup>3</sup> )	≤ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,08-2,14мг/дм <sup>3</sup> ) и ≥50 мг/дм <sup>3</sup> (0,2-0,4мг/дм <sup>3</sup> )
Na <sup>+</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥20 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-0,6 мг/дм <sup>3</sup> )	≥10 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-0,6мг/дм <sup>3</sup> )	≥5 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-1,1мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	≥ 50 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-0,55 мг/дм <sup>3</sup> )	≤0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-0,45 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 20 мг/дм <sup>3</sup> (0,35-0,75 мг/дм <sup>3</sup> )
Ca <sup>2+</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥ 10 мг/дм <sup>3</sup> (3-10 мг/дм <sup>3</sup> )	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (3-11 мг/дм <sup>3</sup> )	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (3-20 мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	≥ 10 мг/дм <sup>3</sup> (3-7 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (6-7 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (4-10 мг/дм <sup>3</sup> )
K <sup>+</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥ 20 мг/дм <sup>3</sup> (1-5,3 мг/дм <sup>3</sup> )	≥50 мг/дм <sup>3</sup> (1-1,8 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,5-6 мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	≥ 10 мг/дм <sup>3</sup> (5-9 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 50 мг/дм <sup>3</sup> (5,5-7,4 мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (5-12 мг/дм <sup>3</sup> )
Cl <sup>-</sup>	чернозем типичный на легком суглинке	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (1,03-22 мг/дм <sup>3</sup> )	≥20 мг/дм <sup>3</sup> (0,75-1,42мг/дм <sup>3</sup> )	≥ 0,5 мг/дм <sup>3</sup> (1,03-25 мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,71-22 мг/дм <sup>3</sup> )	≥20 мг/дм <sup>3</sup> (0,75-1,42мг/дм <sup>3</sup> )	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,71-32 мг/дм <sup>3</sup> )
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	чернозем типичный на легком суглинке	не влияет	не влияет	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,5-2,5 мг/дм <sup>3</sup> )
	серая лесная на лессе	не влияет	не влияет	≥0,5 мг/дм <sup>3</sup> (0,8-6,1мг/дм <sup>3</sup> )

наибольшее воздействие оказывает аммиачная вода, затем идут растворы сульфата аммония и хлорида калия. Аммиачная вода в дозе 100 мг/дм<sup>3</sup> вызывает выход в водную вытяжку до 20 мг/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> из чернозема и до 10 мг/дм<sup>3</sup> Ca<sup>2+</sup> из серой лесной почвы, в то время как растворы сульфата аммония и хлорида калия в тех же дозах вызывают выход ионов кальция 11 и 7 мг/дм<sup>3</sup> и 10 и 7 мг/дм<sup>3</sup> соответственно (рис.3.4, 3.6). Выход ионов натрия при воздействии аммиачной воды также выше на 0,2 мг/дм<sup>3</sup> по сравнению с вытяжками на растворах сульфата аммония и хлорида калия. Выход калия при воздействии растворов KCl заметно увеличивается

начиная с концентрации  $10 \text{ мг/дм}^3$  для серых оподзоленных и  $20 \text{ мг/дм}^3$  для чернозема, вероятно при более высоких концентрациях дополнительное поглощение калия почвенно-поглощающим комплексом не наблюдается. Наибольший выход калия отмечен при воздействии аммиачной воды (до  $11 \text{ мг/дм}^3$  на серой лесной почве) затем идут растворы хлорида калия (до  $9 \text{ мг/дм}^3$ ) и сульфата аммония (до  $7 \text{ мг/дм}^3$ ). Фиксация калия черноземом выше, чем серой лесной почвой, т.к. различные дозы и удобрения вызывают меньший выход калия из чернозема, чем из серой лесной почвы. Выход ионов хлора в водную вытяжку наибольший (до  $25\text{-}30 \text{ мг/дм}^3$ ) при воздействии на почву растворов аммиачной воды, затем идут растворы хлорида калия (до  $23 \text{ мг/дм}^3$ ). При воздействии сульфата аммония выход хлоридов минимален (до  $1,5 \text{ мг/дм}^3$ ). По всей видимости, при воздействии аммиачной воды происходит разрушение минералов почвы. Увеличения выщелачивания фосфора при воздействии растворов хлорида калия и сульфата аммония не происходит, в то время как воздействие аммиачной воды вызывает заметное повышение концентрации фосфора в вытяжке (до  $6,5 \text{ мг/дм}^3$  из серой лесной почвы и до  $2,5 \text{ мг/дм}^3$  из чернозема типичного) (рис.3.5, 3.7). При различных дозах воздействия рН вытяжек заметно изменяется. Для вытяжек на растворах KCl и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  характерно наличие экстремумов в изменении величины рН, для вытяжек на растворах  $\text{NH}_4\text{OH}$  - монотонное возрастание рН при увеличении концентрации удобрения. Экстремумы максимальных значений рН наблюдаются при воздействии растворов  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  в дозах  $0,5 \text{ мг/дм}^3$  для чернозема и в диапазоне концентраций от  $0,5$  до  $20 \text{ мг/дм}^3$  для серой лесной почвы. При воздействии KCl максимум рН отмечен для чернозема при  $5\text{-}10 \text{ мг/дм}^3$  и для серой лесной почвы при  $0,5\text{-}5 \text{ мг/дм}^3$ . Наибольшие величины рН характерны для вытяжек на  $\text{NH}_4\text{OH}$  (до 10 рН). Затем идут вытяжки на  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – максимальные значения рН =7,9 для черноземов, в то время как для серой лесной максимум рН =7,6. В вытяжках на растворах KCl максимум рН выше на серой лесной почве (7,7 рН), для чернозема максимум рН=7,6. При обработке почвы растворами  $\text{NH}_4\text{OH}$  также повышается по сравнению с вытяжками на растворах KCl и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  выход хлоридов в 1,2-20 раз, натрия в 1,8 раз, кальция в 2 раза, калия в 1,3-1,7 раз (рис.3.5, 3.7). Выщелачивание аммония с увеличением концентраций удобрений в растворах в основном увеличивается. Причем, выщелачивание аммония из чернозема наблюдается в меньших количествах, чем из серой лесной почвы, т.к. чернозем обладает большей способностью к его фиксации.

Из табл.3.34 видно, что наиболее равномерно на оба типа почвы воздействуют растворы аммиачной воды, для обоих типов почв здесь характерны одинаковые критические величины воздействия, хотя результат воздействия и не равномерен. Наибольшей пестротой критических доз воздействий отличаются растворы KCl. Растворы KCl и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  обладают более мягким воздействием на почвы по сравнению с растворами аммиачной воды.

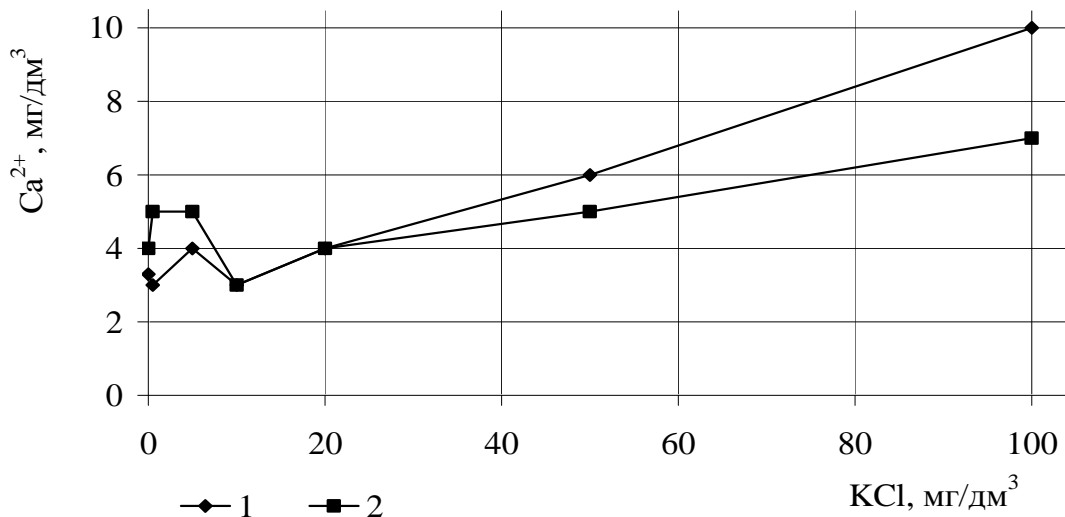


Рис.3.4. Выщелачивание Ca<sup>2+</sup> из чернозема типичного на легких суглинках (1) и из серой оподзоленной почвы на лессах (2) при добавлении в талую воду различных доз KCl

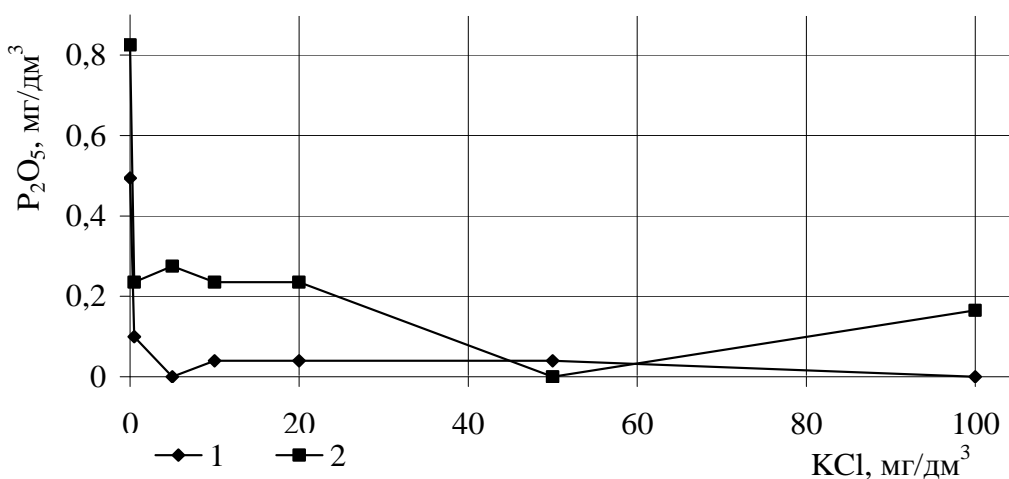


Рис.3.5. Выщелачивание P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> из чернозема типичного на легких суглинках (1) и из серой оподзоленной почвы на лессах (2) при добавлении в талую воду различных доз KCl

Удобрения также изменяют качество продукции. Так, например, известно, что внесение минеральных удобрений на сенокосах с естественным травостоем изменяет содержание сырого протеина в сухом веществе корма (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003 и др.). Увеличение содержания сырого протеина наблюдается при внесении как азотного, так и фосфорного удобрения (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003):

$$Y = 9,5 + 0,51N + 0,29P + 0,55P^{0,5} - 0,68(NP)^{0,5}; r = 0,89,$$

где Y – содержание сырого протеина, %; N – единичная доза азота, кг/га, 1N=40 кг/га; P – единичная доза фосфора, кг/га, 1P=30 кг/га.

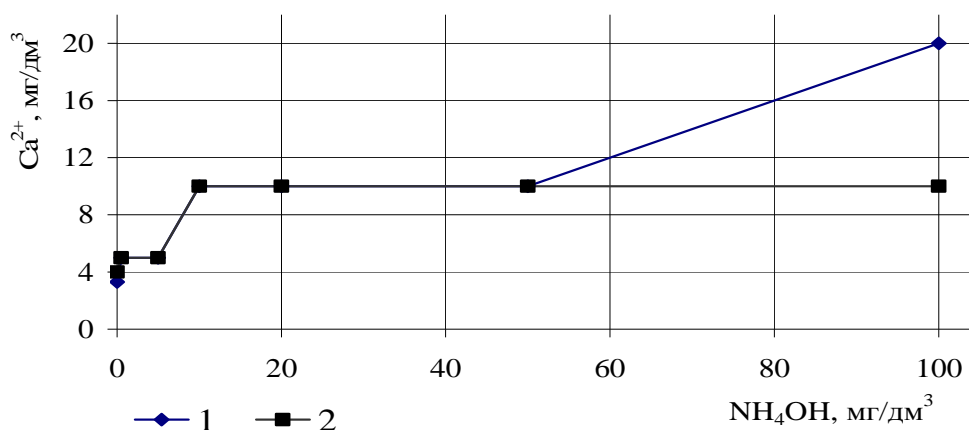


Рис.3.6. Выщелачивание  $Ca^{2+}$  из чернозема типичного на легком суглинке (1) и из серой оподзоленной почвы на лессах (2) при добавлении в талую воду различных доз  $NH_4OH$

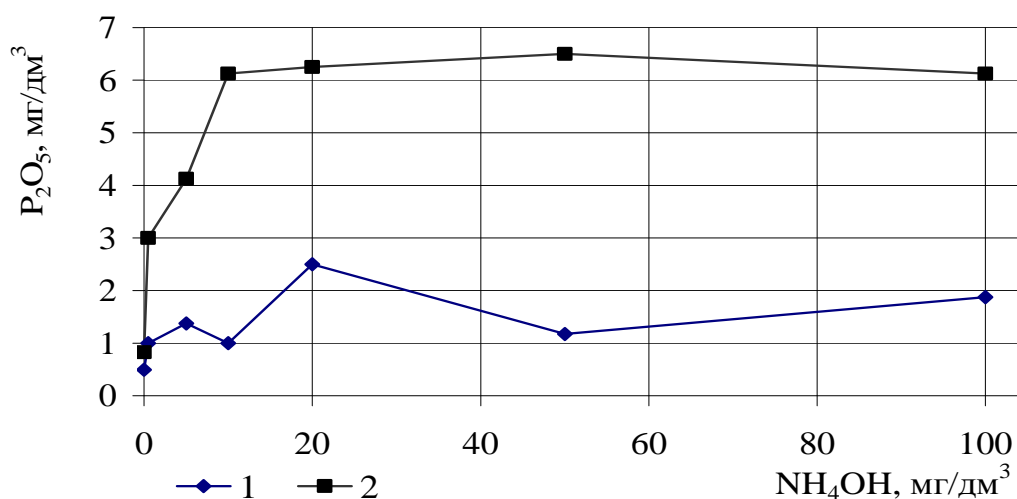


Рис.3.7. Выщелачивание  $P_2O_5$  из чернозема типичного на легком суглинке (1) и из серой оподзоленной почвы на лессах (2) при добавлении в талую воду различных доз  $NH_4OH$

Единичная доза азотного удобрения повышает содержание сырого протеина на 0,5%, фосфорного – на 0,8%. Повышение содержания сырого протеина в корме при внесении фосфорных удобрений происходит не из-за непосредственного влияния данного удобрения, а из-за вызываемого им изменения содержания бобовых трав в урожае, которые по своей природе содержат больше протеина, чем другие виды трав. Среднее количество протеина в изученных образцах бобовых трав составляло 13,9%, злаках – 9,7% и разнотравья – 12,1%. Зависимость содержания сырого протеина, % от доли бобовых трав в травостое представляется зависимостью (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003):

$$Y = 8,8 + 0,04Cf; \quad r = 0,68,$$

где Cf – содержание бобовых видов в урожае сена, %.

Количество бобового компонента в урожае трав регулируется внесением фосфорных удобрений, % следующим образом (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003):

$$Cf = 2,8 + 27,61P^{0,5} - 13,90(NP)^{0,5}; \quad r=0,93.$$

Внесение фосфорного удобрения также стимулирует возрастание доли симбиотически фиксированного азота в общем азоте урожая, Nс, % (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003):

$$Nс = 2,0 + 16,6P - 4,9NP; \quad r=0,93.$$

Кроме того, известно, что внесение фосфорного удобрения при увеличении содержания в корме протеина снижает долю нитратного азота корма, чего не происходит при использовании азотных удобрений, общее содержание нитратов в сене бобово-злаково-разнотравного травостоя снижается под влиянием не только фосфорных удобрений, но и калийных удобрений (К.А.Ерижев, М.Ч.Тамов, 2003).

Для выхода на расширенное воспроизводство плодородия почв необходимо применить три группы мероприятий (М.К.Шикула, 2005). К первой группе относят поиск резервов органических удобрений. Наиболее реальные из них – нетоварная часть урожая (солома, стебли грубостеблевых культур, вермикомпост и т.п.). Сюда также относят и посевы сидеральных культур. Ко второй группе мероприятий относят т.е., что повышают коэффициенты гумификации органических удобрений. К ним относят глубину и способы заделки удобрений в почву, а также создание оптимальной реакции почвенной среды для гумификации. Наибольшие коэффициенты создаются при заделке органических удобрений в верхний слой почвы до 10 см и реакции почвенного раствора близкой к нейтральной. Поэтому возникает необходимость применять минимальную почвозащитную обработку для заделки органических удобрений в верхний слой почвы, а также известкования и гипсования кислых и щелочных почв. Третья группа включает поддержание оптимального соотношения между органическими и минеральными удобрениями. Установлено, что если на одну тонну навоза приходится более 15 кг минеральных удобрений, начинается или усиливается дегумификация почв и их агрофизическая деградация.

Предупредить деградационное влияние на почву одновалентных катионов можно только нейтрализацией их органическими коллоидами, которые образуются после внесения в почву органических удобрений в таком соотношении, при котором нейтрализовались бы все внесенные с минеральными удобрениями одновалентные катионы. Это соотношение между органическими и минеральными удобрениями определено (М.К.Шикула, 2005) эмпирически на основе системных натуральных наблюдений равно 15 кг действующего вещества минеральных удобрений на тонну навоза, его называют коэффициентом биологизации земледелия. Между коэффициентами биологизации земледелия и гумификации



органических удобрений существует прямая связь – чем больше первый, тем выше второй и тем скорее достигается расширенное воспроизводство гумуса и потенциальной почвенной продуктивности. В табл.3.35 приводятся градации коэффициентов биологизации земледелия и характеристика его влияния на почву и на эффективность земледелия. Выделено 5 групп, от земледелия с применением интенсивной химизации до биологического земледелия.

На определенном отрезке времени интенсивная химизация может повысить урожайность сельскохозяйственных культур и валовые сборы сельскохозяйственной продукции. Но ее последствия быстро сказываются на агрофизических свойствах почв, приводят к агрофизической деградации и снижению уровня урожайности сельскохозяйственных культур.

**Таблица 3.35.** Значения коэффициентов биологизации земледелия при различном соотношении органических и минеральных удобрений и их влияние на характер земледелия и свойства почв (М.К.Шикула, 2005)

Соотношение органических и минеральных удобрений, т/кг д.в.	Коэффициенты биологизации земледелия	Характер влияния на земледелие	Влияние на свойства почв
1:0-1:5	1-0,2	биологическое земледелие	Оптимальная для растений плотность сложения почвы; оптимальное значение почвенных режимов; интенсивное нарастание содержания гумуса
1:5-1:8	0,2-0,125	интенсивная биологизация	оптимальная плотность сложения; близкие к оптимальным значения почвенных режимов; менее интенсивное нарастание гумуса
1:8-1:15	0,125-0,067	биологизация	близкое к оптимальному значение плотности сложения; в значениях почвенных режимов возможны минимумы; медленное нарастание содержания гумуса
1:15-1:30	0,067-0,030	химизация	неоптимальное значение плотности сложения; наблюдается слитизация почв, образуются глыбы; наблюдаются минимумы в значениях почвенных режимов; идут процессы дегумификации и декальцинации
>1:30	<0,030	интенсивная химизация	Высокие значения плотности, слитизации, дегумификации, декальцинации, до больших минимумов показатели почвенных режимов

Коэффициенты биологизации отражают не только качество почв, но и качество выращиваемой на них продукции. Так, при соотношении между органическими и минеральными удобрениями 1:11 т/кг д.в. занитрачивания не наблюдается. Оно начинается при соотношении более чем 1:15 т/кг д.в.

Теоретическая база биологизации земледелия базируется на следующих положениях (М.К.Шикула, 2005):

- 1) недопустимости “шокового” состояния почвы, который наблюдается при повороте пласта;
- 2) значительному повышению биологической активности почвы, коэффициентов гумификации навоза и растительных осатков при систематической почвозащитной минимальной обработке почвы;
- 3) определении оптимального соотношения между органическими и минеральными удобрениями;
- 4) биохимическом механизме гумусообразования и саморегуляции почвенного плодородия;
- 5) ускорения малого биологического кругооборота веществ и потоков энергии при применении минимальной обработки почвы и биологизации земледелия;
- 6) возможности управления почвообразованием в агроценозах.

Исходя из этих научных положений, можно сделать вывод, что почвозащитной биологической системе земледелия предшествует биологизация земледелия. Этот переходный период длится 2-3 года, на протяжении которых:

- 1) повышают нормы органических удобрений за счет использования нетоварной части урожая и сидератов;
- 2) уменьшают дозы минеральных удобрений, изменяется соотношение в них между азотом, фосфором и калием в пользу азотных удобрений;
- 3) возрастает доля многолетних трав в структуре посевных площадей;
- 4) вследствие послонной обработки тяжелыми культиваторами или культиваторами-плоскорезами поле освобождается от корнеотпрысковых многолетников, а также от пырея;
- 5) полупаровой обработкой в свободное от основной культуры время посевной слой почвы освобождается от потенциального запаса семян однолетних сорняков;
- 6) органическими удобрениями, в том числе соломой, стеблями грубостебельных культур, пожнивными остатками, восстанавливают в почве пропавшие ассоциации микробов, которые обеспечивают оптимальный питательный режим почвы;
- 7) посевом многолетних бобовых трав (эспарцет, люцерна, донник), а также сидеральных культур (рапс, масляная редька, белая горчица, сурепка) и минимальной обработке на 4-5 см после их обеспечивается вертикальная ориентация пор аэрации почвы, что улучшает водный режим, предупреждает интенсивный сток и на порядок повышает несущую способность почвы;

8) применением чистых паров (не менее 18, еще лучше 30 дней) разбивается трофическая связь в почве вредителей и болезней, что в значительной мере уменьшает их вредоносность;

9) за 3 года разравниваются отдельные борозды и отвальные гребни, образованные предыдущей пахотой, и на ровных как грядки полях становится возможной обработка почвы на глубину 4-5 см.

После переходного периода применяются почвозащитные технологии биологического земледелия, в которых на полях не применяются пестициды и синтетические минеральные удобрения, за исключением азотных и нетоварная часть урожая, как органическое удобрение.

### 3.6. Баланс энергии

Проблемы устойчивости и изменчивости природных систем как различные стороны единого целого в настоящее время являются основным звеном в оптимизации взаимодействия природы и общества.

Практически все процессы в природе подчиняются законам сохранения массы, энергии, импульса и т.п. Географические системы также обладают определенным взаимодействием, к примеру, между поступающим теплом и характером растительности, обводненности, и в этом смысле они подобны физическим системам. Одно из самых важных свойств природных систем – способность к самоорганизации и саморегулированию в некоторой мере вытекает из основного закона сохранения материи.

Физической величиной, отражающей степень изменчивости системы и перехода одной формы движения в другую, является энергия. Общая энергия природной системы, выражающая ее потенциальную устойчивость, противостоит энергиям воздействия на нее, а именно: энергии выпадающих осадков, текучих вод, ветра, антропогенного воздействия и т.п.

По определению, энергия системы взаимосвязанных частей равна работе, которую необходимо затратить, чтобы эту систему разделить на отдельные свободные (не взаимодействующие) части (И.И.Біленко, 1993).

В качестве физической величины, выступающей как мера устойчивости, мера сохранения состояния покоя или движения, мера инерции, а также как мера гравитационных свойств объектов выступает масса.

Закон об эквивалентности массы и энергии Эйнштейна гласит, что полная внутренняя энергия любой физической системы равна ее массе, умноженной на квадрат скорости света:

$$E=mc^2,$$

где  $m$  - масса;  $c$  – скорость света  $c = 2,9979 \cdot 10^8$  м/с.

Этот закон представляет собой обобщенную форму законов сохранения массы и энергии. Однако он не означает физического

тождества между массой и энергией или их взаимопревращаемости, он является конкретным выражением единства устойчивости и изменчивости, присущих каждому явлению, конкретным проявлением связи этих двух необходимых и противоположных сторон всякого процесса.

Согласно всему выше сказанному, интерпретация закона Эйнштейна на географические системы не лишена смысла. Так, для речной системы можно представить массу в следующем виде:

$$m'' = W \cdot \rho,$$

где  $m''$  – масса покоя;  $W$  - объем;  $\rho$  - плотность.

$$W = F \cdot H,$$

где  $F$  – площадь бассейна;  $H$  – средняя высота водосбора.

Полная масса  $m$  равна:

$$m = m'' / \sqrt{(1 - v^2) / c^2},$$

где  $v$  – скорость изменения характеристик системы.

Для речной сети в качестве характеристики системы возьмем изменение годового слоя стока ( $h$ ) за основной период циклических колебаний стока воды ( $T$ ), характеризующий изменчивость системы. Здесь скорость изменения системы можно представить в виде:

$$v = h/T = [\text{мм/с}] = [0,001\text{м/с}];$$

Отсюда энергия речной системы представляет собой следующее выражение:

$$E = F H \rho c^2 / \sqrt{(1 - (h/T)^2) / c^2} = [L^2 M / T^2] = [\text{Дж}].$$

Анализ энергий воздействия на систему интересен не только со стороны исследования ее устойчивости. Так, энергетический кризис, периодически проявляющий себя, обострил интерес к проблемам энергетических ресурсов планеты и показал, что человечество не должно бездумно и расточительно расходовать эти ресурсы. Поэтому одними из самых актуальнейших проблем является поиск путей рационального использования в глобальных масштабах уже открытых и эксплуатируемых источников энергии, а также разведка и промышленное освоение новых источников энергии.

Рассмотрим некоторые энергии воздействия на систему.

**Энергия выпадающих осадков.** Под кинетической энергией дождя принимают произведение массы дождя ( $m_g$ ) на скорость падения капель ( $v_k$ ) (А.Г.Тарарико, 1990 и др.). По Н.Гудзону (1974) при выпадении 1 мм дождя на 1 м высвобождается 24 Дж энергии.

**Энергия текущих вод.** Кинетическая энергия речного потока расходуется на преодоление трения воды о речное русло, размыв горных пород, перенос во взвешенном состоянии и волочение по дну наносов. В процессе разрушения горных пород нарушается целостность земной поверхности. Энергия потока в живом сечении ( $E_p$ ) (из уравнения Бернулли для струйки путем интегрирования) (Ю.М.Константинов, 1988) равна:

$$E_p = \rho g(z + P/\rho g)vw + \rho av^3w/2,$$

где  $\rho$  – плотность воды, определяется по температуре из справочников;  $g$  – ускорение свободного падения;  $P$  – гидростатическое давление в данной точке жидкости;  $v$  – средняя скорость в живом сечении;  $w$  – площадь живого сечения;  $z$  – высота над плоскостью сравнения,  $z=h$ – глубина потока;  $a$  – коэффициент кинематической энергии ( $a \approx 1,0$ ).

В открытом резервуаре давление на поверхности жидкости равно атмосферному (т.е. манометрическое давление равно 0) и

$$P = \rho gh_i,$$

где  $h_i$  – глубина погружения.

**Энергия ветра вод.** Энергия ветра расходуется на разрушение подстилающих пород и транспортировку продуктов выветривания. Сопоставляя энергию опасных атмосферных явлений (по Батану, 1961) и их скорости согласно шкале Бофорта имеем следующую таблицу характеристик опасных атмосферных явлений (табл.3.36).

**Энергия антропогенного воздействия.** В настоящее время существует множество математических моделей, описывающих влияние человека на глобальные процессы в природе, однако оценка этого воздействия далека от полной адекватности. Как отмечают И.А.Шикломанов (1989), В.П.Юшков (1993) и другие, с точки зрения глобальных климатических и гидрологических процессов антропогенное воздействие много меньше естественных вариаций и ошибок модельных расчетов. Наблюдения показали, что природные системы практически всегда устойчивы, неустойчивости, возникающие под действием внешних воздействий либо адекватны реально протекающим процессам (не выходят за пространственно-временные границы устойчивости) либо накладываются на естественные вариации, вызывая «резонанс».

**Таблица 3.36.** Характеристики опасных атмосферных явлений

Опасные атмосферные явления	Диапазон скоростей м/с (А.И.Чеботарев, 1978 и др.)	Средняя скорость, м/с	Кинетическая энергия, Дж (Л.З.Прох, 1983)	Размер переносимых частиц, мм (С.А.Чечкин, 1990)
Умеренный ветер (поднимает пыль)	5,5-7,9	6,7	2560	0,25
Свежий ветер	7,5-9,8	8,7	2560	
Пылевые смерчи (вихри)	10-20	15	$4 \cdot 10^7$	< 1,0
Горнадо, смерчи		20	$4 \cdot 10^{10}$	30-40
Шквалы	20-30	25	$4 \cdot 10^{12}$	30-40, иногда 80
Ураганы, тайфуны	Более 29	44,5	$4 \cdot 10^{16}$	
Циклоны	70-80 иногда 113	75	$4 \cdot 10^{17}$	

Основными видами антропогенного воздействия на большинстве территорий являются сельскохозяйственное производство, водопотребление, дорожное и жилищное строительство, автотранспорт и т.п.

Вложение энергии в земледелие представляет собой (Н.Ф.Реймерс, 1990) «привнесение энергии на единицу обрабатываемой или иным способом используемой (выпас, сенокос и т.п.) территории путем тяговых усилий (распашка, боронование, дискование и т.п.), внесения органических и минеральных удобрений, применения ядохимикатов, управления потоками пасущихся животных, сбора урожая и других агротехнических и агрохимических мероприятий. С ростом интенсификации сельского хозяйства вложение энергии растет: затраты энергии в примитивном натуральном хозяйстве – 2ГДж/га в год; затраты энергии в многоотраслевом хозяйстве развитых стран – 12-15 ГДж/га в год; затраты энергии в высокоинтенсивном земледелии развитых стран – 15-20ГДж/га в год. При достижении затрат энергии в 15 ГДж/га в год начинаются вредные для среды последствия – евтрофикация водоемов, усиленный смыв химических соединений в реки, интенсивная эрозия и т.п. Тогда как в США на 1 га приходилось 29,7 ГДж, в бывшем ГДР – 20,6 ГДж, в Чехословакии – 16 ГДж (В.М.Володин, Р.Ф.Еремина, 1989). Поскольку средний приход энергии от Солнца в умеренных широтах равен 48-61 тыс.ГДж/га в год, величина 15 ГДж/га в год относительно очень невелика. Неблагоприятные процессы возникают по принципу «спускового крючка» (энергетических изменений, «запускающих» цепную реакцию и потому начинающих действовать иногда с уровня, в  $1 \cdot 10^6$  раз более низкого, чем природный фон). Кроме того, следует учитывать, что поток энергии от Солнца – внешний по отношению к поверхности Земли и потому изменяет ее постепенно, тогда как вложенная энергия резко меняет структуру ее поверхности и сильно воздействует на круговорот веществ. Как правило, такие воздействия идут необратимым путем, природные же процессы обратимы вследствие растянутости во времени. Излишнее внесение энергии наиболее пагубно сказывается в естественно энерго избыточных и энергооптимальных регионах, где вносимая энергия оказывается «физическим загрязнителем среды».

По изложенной методике был проведен расчет перечисленных энергий для бассейнов рек Крыма. Полная энергия системы колеблется в пределах  $2,79 \cdot 10^{23}$  -  $1,89 \cdot 10^{26}$  Дж. Разница между полной энергией системы и энергией покоя составляет величины порядка  $10^{-6}$  –  $10^{-3}$  %, в джоулях это немалые цифры ( $10^{17}$ - $10^{20}$  Дж). Согласно (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1966) из годового количества осадков в Крыму 80% приходится на жидкие, поэтому энергию выпадающих осадков рассчитывали для 80% годового количества осадков. Средняя энергия реки вычислялась как среднее между энергиями сечений до данного поста. Для расчета энергии ветра был проведен расчет среднемноголетнего числа дней с ветром по градациям скоростей. Энергия антропогенного воздействия

рассчитывалась как для многоотраслевого хозяйства, т.е. для расчета взята величина 15 ГД/га, с учетом залесенности водосбора.

Из изученных энергий наибольший вклад на системы оказывает сельское хозяйство и ветер.

Ежегодное суммарное воздействие на систему в процентном выражении очень мало, порядка  $10^{-6} - 10^{-9}$  (для различных бассейнов) и полная потеря системой первоначального облика наступит через  $10^8 - 10^{11}$  лет при подобных темпах воздействия. Однако, как уже было сказано выше, любое излишнее воздействие на систему извне может явиться причиной скорейшего разрушения системы.




















В тоже время учет естественной цикличности природных процессов в процентном выражении не на много увеличивает общую энергию системы, порядка  $10^{-3} - 10^{-6} \%$ , однако в энергетическом выражении это значительные цифры, по величине превышающие суммарное воздействие на систему в значительной степени (воздействия составляют  $10^{-5} - 10^{-7} \%$  от природной изменчивости).

Вклад энергий в общую энергию воздействия не равнозначен по территории, нами предложено районирование по степени подверженности исследуемой территории различным видам воздействия (рис.3.8).



**Рис.3.8. Районирование бассейнов рек Крыма по степени подверженности разрушающему воздействию природных и антропогенных факторов**

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ к рис.

- 1  - сильное ветровое водное и антропогенное воздействие, при умеренном воздействии осадков
- 2  - сильное воздействие ветра и человека, умеренное - осадков и слабое - воды
- 3  - сильное антропогенное воздействие и воздействие осадков и ветра, слабое - воды
- 4  - сильное воздействие ветра, воды, осадков и человека
- 5  - сильное воздействие ветра, умеренное осадков и человека, слабое - воды
- 6  - сильное воздействие ветра и осадков, умеренное антропогенное воздействие, слабое - воды
- 7  - умеренное воздействие ветра, осадков и человека, слабое - воды
- 8  - умеренное воздействие ветра и осадков, слабое - человека и воды
- 9  - умеренное воздействие ветра, слабое - осадков, воды и человека
- 10  - сильное воздействие осадков, умеренное - ветра и человека, слабое - воды
- 11  - сильное воздействие осадков и воды, умеренное ветра и человека
- 12  - сильное воздействие ветра, воды и осадков, умеренное - ветра, слабое - воды
- 13  - сильное воздействие человека и осадков, умеренное ветра, слабое - воды
- 14  - сильное антропогенное воздействие, умеренное - ветра и осадков, слабое - воды
- 15  - сильное воздействие ветра, умеренное - осадков, слабое - человека и воды
- 16  - сильное воздействие воды и ветра, умеренное - человека и осадков
- 17  - умеренное воздействие человека и ветра, слабое - воды и осадков
- 18  - сильное воздействие ветра, умеренное антропогенное воздействие, слабое - воды и осадков
- 19  - сильное воздействие ветра и человека, слабое - воды и осадков



Чем меньше число лет цикла, тем устойчивее система, тем большее количество энергии она в себе заключает.

В результате имеем, что природный «шум» во всех случаях превышает «шум» воздействий, т.е. целостность системы не нарушается до тех пор, пока энергия воздействия покрывается энергией цикличности, не приобщая потенциальную энергию системы.

Можно утверждать, что система останется стабильной до тех пор, пока изменчивость будет превышать энергию воздействия за период основного цикла, так как природный организм за это время успевает перестроиться. Именно при переходе за пределы естественной цикличности происходит скачкообразное изменение свойств или, иначе говоря, наблюдается эффект «спускового крючка».

**Оценка энергетических потоков в агропроизводстве.** На агроландшафт действуют, как природные потоки энергии, так и антропогенные. К природным относятся потоки солнечной энергии, ветер, вода и переносимые с ней вещества. К антропогенным энергетическим ресурсам относят: 1) основные средства производства – машины, оборудование, орошение; 2) оборотные – семена, минеральные удобрения пестициды, нефтепродукты, электроэнергия и трудовые ресурсы. Агроприемы, в свою очередь, делятся на низко и высоко затратные. К низко затратным относят: поверхностную обработку дернины, посев, каткование посевов (4,7 ГДж/га). Высоко затратные приемы это 1) применение минеральных удобрений (9,1-13,6 ГДж/га), 2) семена (2,3 ГДж/га), 3) орошение (12,8 ГДж/га). Однако более затратные приемы дают, как правило, большую прибавку урожая (С.В.Яворський, 2004).

При незначительном ресурсном обеспечении сельского хозяйства лучшим критерием оценки уровня эффективности технологий улучшения пастбищ является окупаемость затраченной энергии на производство 1 ГДж ОЭ (обменной энергии), а также агроэнергетический коэффициент, то-есть отношение урожая ОЭ к затратам на его получение. При уменьшении затрат суммарной энергии на единицу обменной энергии уровень эффективности технологий увеличивается. Применяется также коэффициент энергетической эффективности – отношение валовой энергии полученной с 1 га к затратам суммарной энергии на выращивание урожая. Этот коэффициент оценивает окупаемость суммарной энергии урожаем. Если он больше единицы агроприем эффективен, если меньше – убыточный. Он не учитывает объем полученной энергии, а только показывает уровень экономии энергии.

Высокий процент рентабельности энергетических затрат обеспечивают агроприемы с низкими затратами суммарной энергии, такие как посев трав, поверхностное улучшение травостоев. Применение минеральных удобрений и орошение с высокими затратами суммарной энергии замедляют рост рентабельности (С.В.Яворський, 2004).

Взаимосвязь энергии в природе проявляется на разных уровнях организации материи. Так, растения накапливают солнечную энергию через образование хлорофилла под действием солнечных лучей, что в свою очередь отражается на росте растительной массы, животные поедают растения и увеличивают свою биомассу.

Исследования (Л.И.Рак, Г.П.Дутка, 2004; О.Ф.Смаглій и др., 2004) показали, что концентрация обменной энергии в травостое оказывает влияние на эффективность его использования животными. Обменная энергия составляет 89% от перевариваемой. Обменная энергия – это энергия кормов без учета энергии биовыделений животных (моча, кал, газы), т.е энергия усвоенных организмом питательных веществ. Обменную энергию, как показатель энергетической питательности корма рассчитывается по результатам химического анализа по уравнениям регрессии:

для коней:

$$OE, \text{ мДж} = 19,46\text{пП} + 35,43\text{пЖ} + 15,95\text{пК} + 15,95\text{пБЕР},$$

для КРС:

$$OE, \text{ мДж} = 17,46\text{пП} + 31,23\text{пЖ} + 13,65\text{пК} + 14,78\text{пБЕР},$$

где пП – перевариваемый протеин, г; пЖ – перевариваемый жир, г; пК – перевариваемая клетчатка, г; пБЕР – перевариваемые безазотистые экстрактивные вещества, г.

## **Глава 4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ В ПРИРОДНО-АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМАХ**

### **4.1. Моделирование продукционного процесса**

#### **4.1.1. Особенности задач исследования растительных сообществ**

При исследовании растительных сообществ отличают задачи касающиеся роста отдельного растения и фитоценотический подход (М.Д.Корзухин, 1981). Два обстоятельства принципиально отличают задачу описания роста отдельного растения («аутоэкологический» аспект) от задачи описания динамики популяции («синэкологический» аспект) – 1) процесс взаимодействия растений и 2) процесс размножения.

Среди задач, представляющих интерес для экологии выделяют следующие (М.Д.Корзухин, 1981):

1. Простейшая задача об изреживании – наиболее распространенный объект моделирования: найти число особей, отмирающих в единицу времени в одновозрастной популяции без воспроизводства, при заданной начальной плотности посадки, возможно различное расположение особей в пространстве и дифференциация их по размерам. Возникает слабо изученный вопрос о зависимости таксономических признаков (характеристик) растений (диаметр ствола, стебля, размер кроны и т.п.), в том числе и кривых хода роста от плотности популяции и ее возрастного и пространственного распределения.
2. Задача о дифференцировании особей. Популяция из одинаковых особей неустойчива в смысле распределения по размерам из-за конкуренции, например, за свет, возникает механизм положительной обратной связи, деформирующей распределение особей по размерам – чем больше дерево, тем быстрее оно растет за счет подавления соседей и наоборот. Особенно интересен этот процесс на больших временах, когда существенна смертность. При отмирании соседей ранее подавляющиеся особи могут начать быстро расти и становиться доминантными.
3. Задача о продуктивности рассматривается в различных вариантах, например для популяции из тождественных или дифференцирующихся по размерам особей на протяжении одного поколения ищется плотность посадки и тип пространственного распределения, при которых максимально количество биомассы (кормовые растения), семян (зерновые) или древесины заданного размера (лес). Задача очевидным образом распространяется на воспроизводящиеся популяции.
4. Самостоятельная задача о воспроизводстве, актуальная, прежде всего, для леса. Биомасса, численность и возрастное распределение на временах, больших времени жизни особи, могут стабилизироваться или периодически меняться. В первом случае интересны численность и вид возрастного распределения при различных условиях. Второй случай – периодическое воспроизводство определенных пород со сменой типов леса – наблюдается например, в различных формациях темнохвойных лесов, в

буковых лесах и т.п., механизм цикличности таков: из-за высокой плотности взрослых особей долгое время подавляется подрост своего вида (и большинства прочих видов), затем взрослые особи отмирают, через некоторое время вырастает следующее поколение, забивающее свой подрост и т.д. Интересны условия возникновения и возможные типы такой периодичности.

В настоящее время сформировался определенный подход к моделированию биогеоценотических объектов (В.В.Галицкий, 1981). Суть его состоит в том, что к моделированию растительных сообществ и других биогеоценотических объектов целесообразно подходить с позиций принципа «минимального угла зрения», т.е. строить последовательный ряд моделей, начинающийся с возможно более общей модели, обладающей минимальной структурой и учитывающей лишь тот минимум свойств объекта, без которого рассмотрение объекта теряет смысл. Создаваемый ряд моделей соответствует последовательному «приближению» к объекту – увеличению «угла зрения», производимому таким образом, что на каждом шагу (в каждой модели некоторого ряда) учитываются только те свойства объекта, которые «видны» с данного «расстояния».

По мере «приближения» к объекту число возможных направлений для следующего «шага» возрастает и фактически есть возможность построения сети из организованных таким образом рядов моделей биогеоценотического объекта (растительного сообщества). Наличие такой возможности связано с тем, что оценка «видимости» с данного «расстояния» тех или иных свойств объекта в известной степени определяется искусством оператора.

Существенным методологическим преимуществом рядов моделей можно считать то, что для каждой следующей модели из данного ряда мы уже знаем поведение моделируемого объекта на более общем уровне рассмотрения, что само по себе делает более основательной процедуру построения и анализа модели данного «шага».

Кроме того, можно полагать, что при построении рядов моделей в соответствии с обсуждаемым подходом для идентификации моделей меньшего «угла зрения» в общем случае должны требоваться данные другого иерархического уровня, чем для модели большего «угла зрения» и поэтому при переходе к следующему «шагу» следует ожидать добавления относительно небольшого и однородного массива параметров, которые необходимо идентифицировать. При этом следует учитывать, что построение рядов (сетей) моделей некоторого объекта или явления, по сути, есть построение его количественной теории.

Считается, что основными типами внутривидового взаимодействия является конкуренция за ресурсы и так называемое положительное взаимодействие особей, например, «помощь» подросту со стороны взрослых особей эдификатора посредством подавления конкурентов, предохранения от заморозков и т.п.

Все растения являются биологическими объектами, неподвижными относительно внешней среды, поставляющей им необходимые продукты и энергию для поддержания жизнедеятельности. Основными ресурсами, необходимыми для существования растений, является свет, вода и растворенные в ней минеральные соли. Увеличение с возрастом размеров растений, а соответственно и увеличение потребности в ресурсах, необходимых для их нормальной жизнедеятельности, приводит к конкуренции, т.е. к специфическим формам взаимодействия между растениями.

Конкурентные взаимоотношения между растениями определяются дефицитом ресурсов, возникающим либо вследствие неравномерной обеспеченности (при неравномерном размещении), либо различиями в скорости развития. Растение, которое оказалось более обеспеченным, развивается лучше по сравнению со своими соседями, затеняя их и увеличивая свою корневую систему. Это равносильно увеличению пространства для одних растений и уменьшению его для других. В результате более сильные особи получают дополнительную возможность еще быстрее развиваться, а отстающие, не имея возможности ассимилировать больше света и воды, чем это позволяют им соседи, будут отставать все больше и больше. Если какое-нибудь растение погибает, оно освобождает свою долю пространства в пользу окружающих особей, кроме того, постепенно разлагаясь, оно освобождает также и минеральные вещества, временно связанные им.

Интенсивность конкурентных взаимоотношений в растительных сообществах достаточно высока. Например, при начальной плотности всходов сосны до 1 млн. на 1 га к 120-150 годам на 1 га приходится около 500 деревьев. При этом происходит значительное перераспределение начального размещения деревьев в древостое.

При построении моделей конкурентного взаимодействия предполагается, что особи конкурируют за один ресурс, для этого есть следующие основания:

1) это предположение – простейшее с модельной точки зрения и должно быть прослежено в первую очередь; отказ от него приведет к необходимости учитывать в модели еще один, помимо конкурентного, тип взаимодействия – между ресурсами (например, влияние недостатка одного из них на конкуренцию за другой);

2) во многих случаях в естественных и сельскохозяйственных популяциях конкуренция происходит в основном за один ресурс.

Явный учет, в смысле введения в модель, одного ресурса вовсе не означает полного игнорирования остальных – не надо предполагать ни избытка прочих ресурсов, ни даже их постоянства по пространству и во времени. Достаточно лишь считать, что мы рассматриваем картину, усредненную по всем ресурсам, кроме одного. Что, в конце концов, приводит к описанию бесконечной по своим свойствам, переменным, параметрам – системы конечным числом переменных.

Существуют как динамические модели конкуренции, опирающиеся на дифференциальные уравнения в виде уравнения неразрывности, так и стохастические, основанные на вероятностных законах распределения (чаще всего применяется закон распределения Пуассона) (М.Д.Корзухин, 1981 и др.):

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} + \frac{\partial \mu}{\partial r} = \mu F,$$

где  $\mu$  – биомасса;  $r$  - возраст;  $t$  - время;  $\mu F$  – скорость прироста биомассы.

С продуцированием фитомассы физиологически связано испарение с суши ( $E$ ) или эвапотранспирация, составной частью которой является транспирация. Вода непосредственно участвует в процессе фотосинтеза, в образовании органического вещества. Именно поэтому по количеству испарившейся воды можно судить о приросте фитомассы. Испаряемость ( $E_0$ ) – испарение с водной поверхности или потенциальная эвапотранспирация (см гл.3) - является комплексным климатическим показателем, характеризующим способность атмосферы принимать влагу и зависящим от целого ряда факторов – влажности воздуха, скорости ветра, солнечной радиации, температуры воздуха и др. Исследования связи продуктивности с испарением и испаряемостью в настоящее время весьма актуальны в связи с тенденцией смены климата, поскольку смена режимов испарения и испаряемости будут оказывать существенное влияние на динамику чистой первичной продукции – основу практически всех трофических цепей (А.А.Минин, А.Е.Рубина, 1991). Связь между годичной продукцией растительности ( $P$ ) и испарением ( $E$ ) выглядит следующим образом (А.А.Минин, А.Е.Рубина, 1991):

$$P = 0,769 + 0,467E + 0,034E^2.$$

По Р.Уиттикеру (1980) величина прироста фитомассы ( $P_f$ ) зависит от суммарного испарения или эвапотранспирации ( $E$ ) следующим образом:

$$P_f = 0,0002E^{1,68}.$$

Фитомассу сельскохозяйственного растительного покрова ( $M_{фис}$ , ц/(га·год)) можно определить в зависимости от суммарного испарения ( $E$ , мм/год), относительного содержания гумуса ( $M_{гсотн}$ , одн.ед.), равного отношению конечного содержания гумуса к начальному, количества вносимых органических удобрений ( $U_0$ , т/(га·год)), количества вносимых минеральных удобрений в пересчете на чистое вещество ( $P_{мф}$ , кг/(га·год)), количества вносимых минеральных азотных удобрений в пересчете на чистое вещество ( $P_{ма}$ , кг/(га·год)) (С.И.Зотов, 2001):

$$M_{фис} = 0,00023E^{1,68}(0,205M_{гсотн} + 0,795) + (0,294U_0 + 0,706) + P_{мф}(3,858 \cdot 10^{-2} - 9,671 \cdot 10^{-5}P_{мф}) + (3,597 \cdot 10^{-2}P_{ма} + 2,377 \cdot 10^{-4}P_{ма}^2 - 1,945 \cdot 10^{-6}P_{ма}^3).$$

Связь продуктивности с испаряемостью имеет оптимум испаряемости 40-80 см/год, при котором достигается наибольшее продуцирование фитомассы. В этой зоне климатические условия наиболее благоприятны для выращивания фитомассы и не являются лимитирующими. Дифференциация значений продуктивности здесь обусловлена влиянием других факторов, как природных (свойства почв,

наличие определенных химических элементов и т.п.), так и антропогенных. На таких территориях проведение определенных агротехнических мероприятий может дать наибольший экономический эффект. Аналогичные мероприятия за пределами зоны не будут столь эффективны. Поэтому очень важно правильно подобрать видовой и сортовой состав растений в создаваемом агроценозе.

Направленное изменение во времени отдельных компонентов или всей экосистемы называют сукцессией. Сукцессии могут быть первичными (начинающимися на безжизненном субстрате – лавах, скалах, аллювиальных отложениях) и вторичными, в процессе которых возникают новые на месте разрушенных биогеоценозов (после пожара, засухи, вырубки леса и т.п.) (А.В.Яблоков, 2006). При отсутствии помех смена сообществ завершается формированием последней стадии – климаксового сообщества, или климакса, которое оказывается крайне устойчивым и способным существовать много дольше, чем любая предыдущая стадия сукцессионного ряда.

Экологические сукцессии в различных сообществах протекают с неодинаковой скоростью и с участием разного числа компонентов. К тому же и климаксовые периоды могут иметь различную продолжительность. Для изменения биогеоценозов характерны некоторые общие черты независимо от типа сукцессии (А.В.Яблоков, 2006):

1. Все биоценотические системы оказываются динамичными, подвижными, чутко реагирующими на влияние внешней среды и формируемые множеством трофических и топических связей компонентов внутри экосистемы.

2. В процессе развития экосистемы наблюдается удлинение цепей питания, увеличение числа трофических уровней и звеньев в пределах каждого из этих уровней. При этом происходит дифференциация потоков вещества и энергии, отражающаяся возрастанием в экосистеме числа видов с узкой пищевой специализацией (при одновременном снижении численности каждого вида). Так, по мере развития, в экосистеме возникают дополнительные (малые) круги превращения веществ, в которых органика без минерализации вновь включается (через посредство хищников) в цикл круговорота веществ и энергии, происходит возрастание видового и биохимического разнообразия.

3. В результате удлинения цепей питания увеличивается время удержания вещества и энергии, часто выражающееся в появлении крупных долгоживущих организмов. В климаксе жизнь экосистемы основана на веществе, циклирующем в биотическом круговороте. Из этого круговорота мало что выводится, но зато и общая продукция оказывается меньшей, чем на предыдущих стадиях экологической сукцессии. Максимум биомассы и продукции не совпадает с климаксом.

Климаксные фитоценозы (А.В.Яблоков, 2006) представляют собой устойчивые и динамические системы. Климаксные сообщества характеризуются относительной устойчивостью состава, структуры,

продукции, определенной сезонной и флуктуационной изменчивостью, энергетическим равновесием – равенством между количеством фиксируемой фототрофами солнечной энергии и расходом ее на дыхание всеми организмами, входящими в состав биоценозов.

Повышение содержания органического вещества (в основном в почве) идет до климаксного состояния, после чего прекращается. До климакса накапливается и азот. Увеличение органики в почве означает иммобилизацию элементов минерального питания, все большие количества которых сосредоточиваются в опаде, подстилке, гумусе (А.В.Яблоков, 2006). В то же время возрастает способность системы удерживать эти вещества от вымывания за пределы биогеоценоза.

В некоторых развитых климаксных экосистемах отсутствуют численно доминирующие виды. В результате стабильная работа экосистемы обеспечивается даже при вымирании отдельных видовых популяций – зависимость экосистемы от любой отдельной видовой популяции минимизируется, и экосистема становится более стабильной (за счет возможности замены одних ее членов другими в круговороте вещества и энергии) (А.В.Яблоков, 2006). Разрушение такой стабильной климаксовой экосистемы возможно лишь при действии каких-то катастрофических факторов (землетрясение, извержение вулкана и т.п.) или резком изменении климата.

Изучение сукцессий особенно актуально в связи с антропогенным влиянием на биосферу. В настоящее время биоценотический покров биосферы представляет собой сложную мозаику антропогенных трансформатов, а также полуприродных и природных экосистем, находящихся в различных стадиях разных типов сукцессий (А.А.Титлянова и др., 1993). Состав сообщества на ранних стадиях сукцессии находится под большим влиянием случайных обстоятельств – погодных условий, инвазии видов, в связи с чем для пионерных стадий сукцессии характерны не столько направленный тренд, сколько флуктуации. Со временем они играют все меньшую роль, так как гасятся возникающими свойствами самого биотического сообщества. Поэтому, взаимодействие видов – это основная сила, формирующая структуру сообщества, и на поздних стадиях она перевешивает случайные флуктуации. Сообщество есть в высокой степени интегрированная, хорошо подогнанная друг к другу совокупность разных популяций, оно обеспечивается не только организованностью видовой структуры, но и связью ее с трофической структурой и структурой биологического круговорота. Ю.Одум (1975) выдвинул следующие положения в теории сукцессий:

1. Сукцессия связана с фундаментальным сдвигом потока энергии в сторону увеличения количества энергии, направленной на поддержание системы.



2. Сукцессия – это упорядоченный процесс развития сообщества, который имеет определенное направление, а, следовательно, сукцессия предсказуема.

3. Сукцессия происходит в результате модификации среды сообществом, т.е. сукцессия контролируется сообществом.

4. Кульминацией сукцессии является зрелое стабильное сообщество, в котором на единицу доступного потока энергии достигается максимальная биомасса.

В табл.4.1 представлены характеристики разных структур экосистемы, меняющихся в ходе сукцессии.

**Таблица 4.1.** Структура сообщества и жизненные циклы (по Ю.Одуму (1975) в модификации А.А.Титляновой с соавторами (1993)(NPP – чистая первичная продукция; ResP – гетеротрофное дыхание; В – биомасса; Е – доступная энергия)

Показатель	Сообщества	
	сукцессионные	зрелые
Видовое разнообразие	мало	велико
Ярусность и пространственная гетерогенность	слабоорганизованы	хорошо организованы
Специализация по нишам	широкая	узкая
Размеры организмов	небольшие	большие
Жизненные циклы	короткие и простые	длинные и сложные
Характер роста		
Давление отбора	на быстрый рост, r-отбор	на регуляцию обратной связи K-отбор
Трофическая структура		
Пищевые цепи	в основном пастбищные	в основном детритные
Внутренний симбиоз	Не развит	развит
Стабильность		
Устойчивость к внешним возмущениям	низкая	высокая
Структура потоков энергии и биологического круговорота		
NPP/ResP	> или < 1	1
NPP/В	высокое	низкое
В/Е	низкое	Высокое
Круговороты минеральных веществ	открытые	Закрытые
Скорость обмена биогенных веществ между организмами и средой	высокая	низкая
Роль детрита в регенерации биогенных веществ	незначительная	значительная

Согласно (А.Л.Александровский, Е.И.Александровская, 2005) в развитии растительности выделяются следующие сукцессии (время за которое могут возобновляться растительные группировки в естественных и антропогенных геосистемах):

1. Первичные сукцессии:

арктические тундры – 1000-3000 лет;

лиственничная тайга на лавах 800-1200 лет;

темнохвойная тайга на лавах – 150-200 лет;

темнохвойная тайга на тесках – 150-200 лет;

дубовые леса на аллювиальных почвах – 300-500 лет;

луговые степи на речных террасах – 150 лет.

2. Вторичные сукцессии:

арктические тундры на отвалах – 400-500 лет;

лиственничная тайга на отвалах – 350-400 лет;

темнохвойная тайга (залежь) – 120-150 лет;

темнохвойная тайга (после пожара) – 150 лет;

дубовые леса после рубки 100-200 лет;

степь злаковая, залежь – 35-45 лет.

Созданные в измененной среде плантационным методом лесные культуры имеют упрощенный, линейный ход развития, который ограничен возрастным созреванием деревьев (М.С.Стойко, 2006). Такие ценозы практически не благоприятны для сохранения биологического и фитоценотического разнообразия, в них отсутствуют природный отбор и природная способность к самовосстановлению.

Сравнительные экологические исследования в природных и трансформированных лесах проведенные (М.С.Стойко, 2006) показали, что чем выше степень их натуральности, тем выше их экологическая способность к саморегуляции, самозащите, самовосстановлению, тем выше их гомеостатический потенциал, то есть способность поддерживать экологически стабильное состояние в условиях соответственного экотопа (табл.4.2).

#### **4.1.2. Моделирование продукционного процесса в культурных посевах**

Для управления процессами роста и развития сельскохозяйственных культур, оптимизации различных этапов продукционного процесса необходимо прогнозирование скорости развития растений, поскольку с датами наступления фаз развития связаны все особенности проведения тех или иных технологических операций, направленных на оптимизацию выхода продукции.

Структура растений и посева в целом формируется последовательно, поэтому потери на одном из этапов могут быть частично восполнены улучшенным уходом на другом. Решения о применении тех или иных агротехнических мероприятий, направленных на повышение

**Таблица 4.2.** Степени натуральности лесных фитоценозов (М.С.Стойко, 2006)

Уровень натуральности фитоценоза	Участие в ценотическом составе видов, не свойственных природным фитоценозам в данных условиях среды, %	Степень натуральности ценоза	Экологическая способность фитоценоза			
			К саморегулированию	К биологической самозащите	К самовосстановлению	К защите от экологических стрессов (кислых дождей, ветровалов и т.п.)
Абсолютно натуральный	0	6	хорошо выражена	хорошо обеспечена	хорошая	удовлетворительная
Почти натуральный	1-25	5	хорошо выражена	хорошо обеспечена	хорошая	удовлетворительная
Полунатуральный	26-50	4	посредственно выражена	посредственно обеспечена	удовлетворительная	низкая
Частично искусственный	51-75	3	посредственно выражена	посредственно обеспечена	удовлетворительная	низкая
Почти искусственный	76-99	2	слабо выражена	слабо обеспечена	незначительная	неудовлетворительная
Полностью искусственный	100	1	слабо выражена	слабо обеспечена	незначительная	неудовлетворительная

продуктивности посевов, следует принимать с учетом их экономической эффективности, порога вредоносности болезней, вредителей и сорняков, климатических условий и т.п. (В.М.Ковалев, 2000). В частности изреживание посевов сильно зависит от условий выращивания (табл.4.3).

**Таблица 4.3.** Снижение числа растений озимых зерновых культур в отдельные периоды (по И.Петр, 1984)

Период и причина	Снижение, %	
	в оптимальных условиях	в экстремально неблагоприятных условиях
Посев-всходы	15-20	до 40 и более
Перезимовка	10-20	до 50 и более
Вредители и болезни	5-10	до 70
Механические повреждения посевов	5-10	15
Повреждения пестицидами	1-3	до 10
Конкуренция (сорняки)	-	10-15
Погодные условия	-	20-50 и более

Моделирование продукционного процесса в агрофитоценозе осуществляется различными способами, и, как правило, требует привлечения разнообразных знаний по физиологии и экологии растений, биофизике, почвоведению, метеорологии и т.п. Существуют как эмпирические модели урожайности отдельных культур, так и общие физико-математические модели продукционного процесса.

**Физико-математическая модель.** В основе моделей продуктивности агроэкосистем предлагаемой (А.М.Польвий, 2005) лежит система уравнений радиационного, теплового и водного балансов, баланса биомассы (углерода и азота) в растительном покрове. Моделируется радиационный, тепловой и водный режим системы «почва-растение – атмосфера», режим минерального питания растений и влияние этих режимов на процессы фотосинтеза и дыхания растений, поглощения влаги и элементов минерального питания корневой системой растений, рост и развитие растений, фотосинтетическая продуктивность агроэкосистем.

Основной биологической частью моделей продуктивности агроэкосистем является моделирование прироста биомассы растений. Оно рассматривается как баланс углеводов (продуктов фотосинтеза и распада тканей при старении, потерь на дыхание) и белков (поглощение азота из почвы, продуктов распада тканей, потерь на обновление жизненных структур тканей) на каждом временном шаге.

$$\frac{dm}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R + N_{abs} + N_{hydr} - N_{sen},$$

где  $\frac{dm}{dt}$  - прирост биомассы растений;  $\Phi$  – суммарный фотосинтез растений;  $C_{hydr}$  – масса углеводов, образующихся при распаде стареющих тканей;  $R$  – расход углеводов на дыхание растений;  $N_{abs}$  – количество

поглощенного из почвы азота;  $N_{hydr}$  – количество азота, образующегося при распаде белковых структур;  $N_{sen}$  – расход на обновление белков.

При описании процесса фотосинтеза листьев учитывают фотосинтетически активную радиацию, концентрацию  $CO_2$ , минеральное питание, фазы развития растений, температурный режим, влагообеспеченность растений:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{1/\Phi_{pot} K_{\Phi}(N_{str}^L) + 1/a_C C_0 + 1/a_{\Phi} \Pi} \min \left\{ \alpha_{\Phi}, \Psi_{\Phi}, \frac{ET}{ET_{pot}} \right\},$$

где  $\Phi_{pot}$  – интенсивность потенциального фотосинтеза;  $a_C$  – наклон углекислотной кривой фотосинтеза;  $C_0$  – концентрация  $CO_2$  в воздухе;  $a_{\Phi}$  – наклон световой кривой фотосинтеза;  $\Pi$  – поглощенная растительным покровом фотосинтетически активная радиация;  $\alpha_{\Phi}$  – онтогенетическая кривая фотосинтеза;  $\Psi_{\Phi}$  – температурная кривая фотосинтеза;  $K_{\Phi}(N_{str}^L)$  – коэффициент обеспеченности растений элементами минерального питания.

Расход на дыхание роста и дыхание поддержки моделируются с помощью концепции Мак-Кри и с учетом смены интенсивности дыхания в онтогенезе и под влиянием температуры воздуха.

$$\frac{dR}{dt} = \alpha_R \left[ C_G \frac{dm}{dt} + C_m m \varphi_R \right],$$

где  $C_G$  – коэффициент расхода на дыхание роста;  $C_m$  – коэффициент расхода на дыхание поддержки;  $\alpha_R$  – онтогенетическая кривая дыхания;  $dm/dt$  – прирост биомассы растений;  $\varphi_R$  – температурная кривая дыхания.

При стрессовых условиях и старении растений наблюдаются процессы распада тканей. Эти процессы описываются уравнениями кинетики ферментативного катализа. При достаточно высокой концентрации гидролизуемого субстрата, скорость распада может быть описана уравнением реакции нулевого порядка, а при достаточно низком – уравнением реакции первого порядка.

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^0 K_{hydr}(T_a) K_{hydr}(W) \text{ при } C_i \geq C_{icrit}$$

и

$$\frac{dC_{ihydr}}{dt} = K_{hydr}^1 K_{hydr}(T_a) C_i K_{hydr}(W) \text{ при } C_i < C_{icrit},$$

где  $K_{hydr}^0$  – константа скорости реакции нулевого порядка;  $K_{hydr}^1$  – константа скорости реакции первого порядка;  $K_{hydr}(T_a)$ ,  $K_{hydr}(W)$  – функции влияния температуры воздуха  $T_a$  и влажности почвы  $W$  на скорость распада;  $C_{icrit}$  – критическое количество углеводов, которые определяют начало реакции распада как реакции первого порядка;  $C_i$  – количество стареющих углеводов ткани.

Процесс поглощения азота растением из почвы идет активным путем и пассивным – выносом азота с транспирационным потоком

$$dN_{abs} = D_{ef}^{Nr} N_{soil} L_{funkt}^{\gamma} K_{dif}^N(T_S) + Tr \bar{N}_{s.w.},$$

где  $N_{soil}$  – концентрация азота в почве ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );  $D_{ef}^{Nr}$  – эффективный коэффициент диффузии азота в почвенном растворе ( $\text{NH}_4$ ,  $\text{NO}_3$ );  $L_{funk}^y$  – длина жизнедеятельных корней;  $\bar{N}_{s.w.}$  – концентрация азота в почвенном растворе;  $Tr$  – транспирация;  $K_{dif}^N(T_S)$  – функция влияния температуры почвы на скорость диффузии азота в почвенном растворе.

Процессы поглощения аммония и поглощения нитратов рассматриваются в модели отдельно.

**Полуэмпирическая модель.** Для прогноза урожайности сельскохозяйственных культур часто используют базовую модель В.П.Дмитренко (1978, 1980, 1986, и др.), основанную на применении стандартных наблюдений гидрометслужбы. Урожайность ( $y$ ) здесь оценивается по следующей модели

$$y = Y_i(1-u)S(T,R)\prod_{i=1}^m(1-\gamma_k)$$

где  $Y_i$  – ежегодный хозяйственный максимум урожайности, ц/га;  $u$  – изреженность посевов;  $S(T,R)$  – суммарный показатель продуктивности полевой культуры, рассчитанный по температуре воздуха ( $T, ^\circ\text{C}$ ) и количеству осадков ( $R$ , мм) в предпосевной период и за каждый межфазный период в вегетационном цикле;  $\gamma_k$  – отклонение расчетной урожайности от фактической, обусловленной влиянием других дополнительных показателей  $k$ , что не учтены базовой моделью.

Количественная оценка влияния гидрометеорологических факторов на урожайность проводится с помощью суммарного коэффициента продуктивности  $S(T,R)$ , рассчитываемого по формуле

$$S(T,R) = \sum_i^n \eta_i(T)\eta_i(R)\alpha_i,$$

где  $\eta_i(T)\eta_i(R)$  – коэффициенты продуктивности, рассчитанные соответственно по данным о температуре воздуха  $T$  и количестве осадков  $R$  за предпосевной и все межфазные периоды вегетационного цикла;  $\alpha$  – весовой коэффициент, отражающий вклад продолжительности каждого отдельного периода  $i$  в формировании урожайности. Для сахарной свеклы вышеперечисленные коэффициенты представлены в табл.4.4.

Отдельно влияние температуры воздуха и количества осадков в любой межфазный период определяют с помощью коэффициентов продуктивности, рассчитываемых по формуле

$$\eta(T) = \frac{y(T)}{Y(T_0)} \approx \exp\left[-a\left(\frac{T-T_0}{10}\right)^2\right],$$

где  $y(T)$  – урожайность при температуре воздуха  $T$ ;  $Y(T_0)$  – максимальная урожайность при оптимальной температуре  $T_0$ ;  $a$  – переменный параметр, отражающий влияние термического фактора на скорость биохимических реакций по правилу Вант-Гоффа.

Коэффициент продуктивности сельскохозяйственной культуры по осадкам в каждый межфазный период определяется по формуле:

**Таблица 4.4.** Оптимальные значения температуры воздуха, количества осадков и значения весовых коэффициентов  $\alpha$ , параметров  $q_1$ ,  $q_2$  за отдельные периоды вегетационного цикла сахарной свеклы в агропочвенных зонах Украины (И.П.Галюк, В.П.Дмитренко, Н.А.Перелет, 1986)

Период вегетационного цикла	Температура воздуха, $T, ^\circ\text{C}$	Параметр а при условии когда		Количество осадков		Параметры		$\alpha$
		$T \leq T_0$	$T \geq T_0$	$R_0, \text{мм}$	$R_{max}, \text{мм}$	$q_1$	$q_2$	
<b>Полесье</b>								
Предпосевной	4,2	-2	-4	100	320	0,31	0,69	0,14
Всходы-укоренение	13,5	-2	-4	90	244	0,37	0,63	0,08
Формирование вегетативных органов	18,3	-2	-4	122	312	0,29	0,61	0,12
Рост массы корней	17,2	-4	-6	265	636	0,42	0,58	0,41
Техническая спелость	13,3	-2	-4	90	168	0,54	0,46	0,25
<b>Лесостепь</b>								
Предпосевной	5,3	-2	-4	100	260	0,37	0,63	0,14
Всходы-укоренение	15,1	-2	-4	102	204	0,50	0,50	0,08
Формирование вегетативных органов	19,3	-2	-4	106	244	0,43	0,57	0,12
Рост массы корней	19,0	-2	-4	260	516	0,50	0,50	0,41
Техническая спелость	14,4	-2	-4	114	156	0,73	0,27	0,28
<b>Степь</b>								
Предпосевной	5,8	-2	-4	82	200	0,41	0,59	0,14
Всходы-укоренение	15,0	-2	-4	90	176	0,51	0,49	0,08
Формирование вегетативных органов	17,5	-2	-4	105	216	0,49	0,51	0,12
Рост массы корней	18,4	-2	-4	230	364	0,63	0,37	0,41
Техническая спелость	14,4	-2	-4	95	136	0,70	0,30	0,25
<b>Предкарпатье</b>								
Предпосевной	5,0	-4	-7	103	324	0,32	0,68	0,14
Всходы-укоренение	14,0	-2	-7	120	284	0,42	0,58	0,08
Формирование вегетативных органов	18,4	-4	-6	133	336	0,40	0,60	0,12
Рост массы корней	18,2	-4	-6	270	736	0,37	0,63	0,41
Техническая спелость	12,6	-2	-4	74	196	0,38	0,62	0,25

$$\eta(R) = \frac{y(R)}{Y(R_0)} = \left(1 + \frac{R - R_0}{R_0 - R_{\min}}\right)^{q_1} \left(1 - \frac{R - R_0}{R_{\max} - R_0}\right)^{q_2}$$

где  $y(R)$  – урожайность при количестве осадков  $R$ , мм;  $Y(R_0)$  – урожайность при оптимальном количестве осадков  $R_0$ ;  $R_{min}$ ,  $R_{max}$  – биологически минимальное и максимальное количество осадков;  $q_1$ ,  $q_2$  – параметры.

В табл.4.3 представлены оптимальные значения температуры воздуха и количества осадков в периоды вегетационного цикла для сахарной свеклы по агропочвенным зонам Украины. Суммарный коэффициент  $S(T,R)$  определяют как сумму значений коэффициентов продуктивности за все межфазные периоды с учетом весового коэффициента  $\alpha$  каждого периода.

**Эмпирические модели.** Эмпирические модели урожайности строятся по принципу выбора наиболее влияющих факторов на данную культуру в данных условиях. Урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность диких растений зависит от множества влияющих факторов, представленных в различных сочетаниях, что также оказывает влияние на конечный результат. По данным А.И.Буджерак и В.К.Бердинец (1994) процентный вес антропогенных факторов в формировании урожая распределяется следующим образом: удобрения – 41%, гербициды – 15-20%, обработка почвы – 15%, семена – 8%, ирригация – 5% и другие – 11-18%. Точность аппроксимации большинства моделей достаточно высока, для объективного суждения о достаточности полученной точности аппроксимации необходимо знать точность измерения характеристик урожайности, продуктивности. Согласно (В.Н.Перегудов, И.С.Баборова, 1968) точность измерения урожайности озимой пшеницы составляет 3,5-2,5%, озимой ржи – 4,2%, кукурузы на зерно – 3,8-3%, кукурузы на силос – 4,3-2,9%, сахарной свеклы – 1-3,8%, картофеля – 3,2-3,9%, яровой пшеницы – 2,7-4,1%. Абсолютные ошибки измерения урожайности по данным тех же авторов составляют: для яровой пшеницы 0,5 ц/га, озимой пшеницы – 0,9 ц/га, озимой ржи – 0,9 ц/га, кукурузы на зерно 1,3 ц/га, кукурузы на силос 12,4 ц/га, сахарной свеклы – 12,3 ц/га, картофеля – 7,7 ц/га.

Модели строятся как для текущих значений погодно-климатических условий периодов вегетации отдельного поля, так и в целом для многолетнего периода для почвенно-климатических районов и т.п. в зависимости от поставленной задачи – либо для прогноза возможного урожая в последующие годы либо для определения потенциала урожайности территории, целесообразности ее использования для выращивания отдельных культур.

Например, по (К.П.Терещенко и др.,1986) урожайность льна (волокно) можно определить по зависимости:

$$Y = 4,235 - 0,003P_2 + 0,284t_2 - 0,001P_3 - 1,345t_3, \quad r=0,93,$$

где  $P_2$  и  $P_3$  – отклонение атмосферных осадков от нормы соответственно для холодного (11-3 месяцы) и вегетационного (4-8 месяцы) периодов;  $t_2$  и  $t_3$  – тоже для температуры воздуха.

Урожайность зерновых культур ( $Y$ ) можно оценить по следующим педотрансферным моделям (К.Б.Гіржева, 2006) для черноземных почв:



$$Y = 20,09217 + 3,393z_6^{4,038} - 44,986z_6^{-8,192}z_2 + 0,982(z_2z_2)^{7,052} - -69,682z_2^{8,7} - 0,313z_7^{-7,416}z_5 + 1,713z_{10}^{6,926}z_4 - 1,125z_1^{-6,056}z_2,$$

где  $z_6$  – содержание гумуса в пахотном слое почвы;  $z_2$  – глубина залегания грунтовых вод;  $z_7$  – содержание продуктивной влаги в почве в критические периоды развития растений;  $z_5$  – сумма температур выше 10°C, температура воздуха в критические периоды развития растений, ГТК за период с температурой воздуха выше 10 °C;  $z_{10}$  и  $z_4$  – содержание доступных форм фосфора и калия в пахотном слое почвы;  $z_1$  – плотность сложения почвы, содержание физической глины, мощность гумусового слоя почвы.

Урожайность озимой ржи на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве аппроксимируется следующей зависимостью (Г.Е.Мерзлая и др., 1997):

при возделывании по зерновому предшественнику (ячмень)

$$\text{Усредн} = 21,73 + 8,55N^{0,5} - 3,41N + 0,43N^{0,5} + 0,34(PK)^{0,5}, r=0,92,$$

где N, P, K, H – единичные дозы соответственно азотных, фосфорных, калийных удобрений и навоза.

при возделывании по многолетним травам:

$$\text{Усред.} = 29,72 + 951N^{0,5} - 3,53N + 0,53P + 0,53H + 1,03(NK)^{0,5}, r=0,90.$$

Наибольшее влияние на урожайность озимой ржи посеянной по ячменю, оказывали азотные минеральные удобрения в дозах от 45 до 90 кг/га. Действие навоза на третий год после его внесения, а также фосфорных и калийных удобрений в целом было довольно слабым. Однако в засушливые годы навоз и фосфор оказывали заметное влияние. При посеве озимой ржи после многолетних трав наибольший прирост урожая наблюдался в диапазоне доз азотных удобрений 0-45 кг азота. Дальнейшее увеличение дозы азота до 90-135 кг/га не сопровождалось ростом прибавок урожая, а внесение азота в дозах 180-225 кг/га привело к их снижению, что обуславливалось, прежде всего, полеганием растений при высоком уровне азотного питания. Внесение калийных удобрений на фоне азотных дало устойчивый положительный эффект и повышало урожайность озимой ржи в интервале (NK)45-225 на 7-9 ц/га (Г.Е.Мерзлая и др., 1997).

Для урожайности озимой пшеницы (Y, ц/га) в условиях степной зоны Б.А.Ашабоков и Р.М.Бисчоков (2008) предложили зависимость:

$$Y = 49,41 - 6,71 \cdot 10^{-3}W_0 - 1,21 \cdot 10^{-4}W_3 + 6,87 \cdot 10^{-2}W_B - 4,56 \cdot 10^{-2}W_L + 1,86\Theta_0 - 0,66\Theta_3 - 2,94\Theta_B - 0,46\Theta_L,$$

где  $W_0, W_3, W_B, W_L$  – количество осадков и  $\Theta_0, \Theta_3, \Theta_B, \Theta_L$  – значения средней температуры воздуха в осенние, зимние, весенние и летние сезоны года.

Урожай зеленой массы лука показывает прямо пропорциональную зависимость с количеством листьев и интенсивностью выделения углекислого газа почвой (Г.А.Михеева, Л.А.Сомова, 2009):

$$Y = 8,4 + 14,7X_1, r = 0,84 \pm 0,10,$$

где Y – зеленая масса, г;  $X_1$  – количество листьев.

$$Y = 56 + 3,6X_2, r = 0,99 \pm 0,05,$$

где  $X_2$  – интенсивность выделения углекислого газа почвой, кг.

Увеличение выделения  $CO_2$  почвой способствует интенсификации фотосинтеза.

Для ряда сельскохозяйственных культур В.А.Величко (2009) предложил зависимости урожайности от факторов, характеризующих продуктивную способность почвенных ресурсов (гидротермический коэффициент, зимние осадки, мм, содержание физической глины, %, природный потенциал почвы (гумус), т/га) (табл.4.5).

**Таблица 4.5.** Компоненты уравнений множественной линейной регрессии (по природному плодородию) ( $Y=B+A_1X_1+A_2B_2+A_3B_3+A_4B_4$ ) (В.А.Величко, 2009)

Культура	Предшественник		B	A <sub>1</sub> (гидротермический коэффициент, ГТК <sub>v-ix</sub> )	A <sub>2</sub> (зимние осадки, мм)	A <sub>3</sub> (содержание физической глины, %)	A <sub>4</sub> (гумус, т/га)
Озимая пшеница	пар	черный	47,5721	8,7589	-0,3547	0,0543	0,1314
		занятый	31,3251	24,9455	-0,311	0,0529	0,0877
	кукуруза молочно-восковой спелости		28,1517	23,0363	-0,2838	0,0482	0,0778
	зерновые колосовые		21,3622	18,2754	-0,2166	0,0386	0,0644
Ячмень	яровой		19,6851	15,0016	-0,1912	0,0307	0,0694
	озимый		28,2176	20,5641	-0,2724	0,0352	0,0850
Кукуруза	зерно		27,7135	62,0495	-0,4374	-0,0090	0,0974
	молочно-восковая спелость		183,117	401,526	-2,8184	0,0954	0,6268
Горох			18,0321	27,0651	-0,2337	0,0363	0,0674
Подсолнечник			26,0793	29,3633	-0,2992	-0,0116	0,0677

Прогнозирование урожайности плодовых культур. Для абрикоса выявлено, что колебания его урожайности больше всего связано с погодой (Р.С.Мкртчян и др., 1977). Так, к примеру, по (И.А.Драгавцева, В.А.Яковук, 1977) при абсолютном минимуме температур более  $-22^{\circ}C$  наблюдается практически 100% гибель цветочных почек абрикос. По (Р.С.Мкртчян и др., 1977) оптимальный урожай получают после зим с минимальной температурой воздуха от  $-15$  до  $-24^{\circ}C$ . При абсолютных минимумах температур выше  $-15^{\circ}C$  урожай снижается из-за зимних оттепелей, после которых плодовые почки зачастую рано пробуждаются и попадают под заморозки. Рассчитать урожайность ( $Y$ , ц/га) абрикоса можно по следующей зависимости (Р.С.Мкртчян и др., 1977):

$$Y = -0,31z + 0,31z^2 + 0,01z^3 + 19,2, r = 0,77.$$

где  $z$  – абсолютные минимальные температуры воздуха,  $^{\circ}C$ .

По регионам Украины получены (М.О.Бублик, 2005) модели средней урожайности сливы ( $Y$ ) от погодных условий:

$$Y_{\text{Западная Лесостепь}} = 326,4 - 0,1X_9 - 3X_{10} + 4,6X_{13} - 3,7X_{15} + 2,5X_{16} + 1,4X_{22} - 3,1X_{23},$$

$$r=0,819;$$

$$Y_{\text{Приднестровье}} = 4,7X_1 - 1,1X_5 + 10,0X_8 - 2,1X_{11} - 2,2X_{22} - 6,3X_{26} - 11234,1, r=0,916;$$

$$Y_{\text{Донбасс}} = -271,6 + 0,2X_2 + 1,0X_8 + 4,5X_{20} - 4,9X_{21} - 1,5X_{22}, r=0,81,$$

где  $X_1$  – год исследований;  $X_2$  – годовая сумма осадков, мм;  $X_5$  – среднегодовая относительная влажность воздуха, %;  $X_8$  – безморозный период, дни;  $X_9$  – сумма эффективных температур ( $>10^\circ\text{C}$ ),  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{10}$  – минимальная температура в октябре,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{11}$  – минимальная температура в декабре,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{13}$  – минимальная температура в течение периода цветения,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{15}$  – максимальная температура в ноябре,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{16}$  – максимальная температура в декабре,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{20}$  – разница между ежедневными максимальной и минимальной температурами в октябре;  $X_{22}$  – разница между ежедневными максимальной и минимальной температурами в декабре,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{23}$  – разница между ежедневными максимальной и минимальной температурами в январе,  $^\circ\text{C}$ ;  $X_{26}$  – разница между ежедневными максимальной и минимальной температурами в течение цветения,  $^\circ\text{C}$ .

Примечательно влияние на урожайность относительной влажности воздуха, как правило, модели с этим показателем показывают большую адекватность исходным данным, чем модели, в которых используются атмосферные осадки и температура воздуха. Это объясняется тем, что влажность воздуха является комплексной характеристикой погодных условий, она зависит от количества выпавших осадков, температуры воздуха, ветра, интенсивности солнечной радиации и т.п.

Фоновое представление о продуктивности культурных фитоценозов для больших территорий дает применение синоптико-статистических методов: анализ высотных барических полей Н100, Н500, анализ календаря фаз квазидвухлетней цикличности, анализ циркуляционных условий, предшествующих вегетационному периоду и т.п. В качестве предикторов используются значения геопотенциала в узлах регулярной сетки, углы наклона осей гребней или ложбин к широтным кругам, число дней с циклонической и антициклонической циркуляцией и п.п. При большей степени детализации определяются региональные поправки к зависимостям. В синоптико-статистической схеме прогноза вначале выявляют районы, изучение циркуляционных условий над которыми может дать информацию о формировании продуктивности культур. Для их выявления анализируется связь полей геопотенциала на высотах и весенние естественно-синоптические периоды (с конца марта до начала мая) с урожайностью. Территорию разбивают на квадраты с шагом  $10 \times 10^\circ$ , в узлах которых снимают значения геопотенциала с осредненных за естественно-синоптические периоды карт АТ<sub>Н</sub>. Так, к примеру, Л.Н.Ермакова и Н.И.Толмачева (2006) предложили зависимости для прогнозирования урожая яровой пшеницы на Урале по АТ<sub>500</sub>:

$$Y = 1,081A_2 - 2,004A_3 + 0,939A_4 - 0,132A_5 + 0,353A_7 - 0,229A_8 - 0,068A_9 + 0,027A_{10} - 0,018A_{11} + 0,041B_{16} - 0,145B_{17} + 0,136B_{18} - 0,163B_{19} + 108,448,$$

где  $У$  – прогнозируемая урожайность, ц/га;  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6, A_7, A_8, A_9, A_{10}, A_{11}$  – значения геопотенциала в точках ( $80^\circ$  с.ш.;  $20^\circ$  з.д.) – последняя ( $80^\circ$  с.ш.;  $80^\circ$  з.д.);  $B_{16}, B_{17}, B_{18}, B_{19}$  – тоже самое для  $70^\circ$  широты с запада на восток.

#### 4.1.3. Моделирование продукционного процесса в травяном сообществе

Для формирования пастбищной растительности преобладающее значение имеют осадки холодного периода года. Интегральным показателем результата связи комплекса гидротермических условий почвы и произрастания на ней растений являются запасы продуктивной влаги в почве. Весенние запасы влаги являются решающим фактором произрастания пастбищных растений в последующий период. Поэтому, ориентируясь на размер влагозапасов в почве весной, можно с достаточной степенью точности оценивать условия роста пастбищных трав, а вместе с тем и уровень их урожая. Зависимость максимального урожая растительной массы (в ц/га) с запасами почвенной влаги в метровом слое в декаду перехода температуры воздуха через  $+5^\circ\text{C}$  выглядит следующим образом (З.Н.Белоусова, 1970):

$$y = 0,09x + 0,6,$$

$y$  – урожай трав в ц/га;  $x$  – запасы влаги (в мм) в метровом слое почвы весной в декаду с температурой воздуха  $5^\circ\text{C}$  и выше.

Коэффициент корреляции  $r = 0,72 \pm 0,06$ , ошибка модели  $S_y = \pm 1,4$  ц/га.

Прослеживается достаточно четкая связь высоты полыни в период летнего покоя с запасами продуктивной влаги в слое 0-20 см на дату возобновления вегетации:

$y = 0,56x + 9,6$ ;  $r = 0,74 \pm 0,05$ ,  $S_y = \pm 4$  см (что составляет 15% среднемноголетней высоты полыни),

$y$  – высота полыни в сантиметрах на начало летнего покоя;  $x$  – запасы влаги в слое 0-20 см на дату возобновления вегетации полыни.

Связь максимальной высоты мятлика ( $y$ , см) с числом влажных и теплых декад ( $x$ ) представлена ниже. За влажную и теплую декаду принималась декада с температурой  $5^\circ\text{C}$  и выше и запасами продуктивной влаги 4-5 см в слое почвы 0-20 см.

$y = 2,5x + 4,5$ ,  $r = 0,76 \pm 0,07$ ,  $S_y = \pm 3$  см (15% средней высоты растения).

Высота житняка в период цветения ( $y$ ) в зависимости от запасов влаги в слое 0-100 см за декаду возобновления вегетации ( $x$ ) рассчитывается по формуле:

$$y = 0,21x + 23, r = 0,79 \pm 0,07, S_y = \pm 4 \text{ см}$$

Тоже для типчака:

$y = 0,30x + 8,4$ ,  $r = 0,74 \pm 0,08$ ,  $S_y = \pm 5$  см.

Урожайность сухой массы ежи сборной ( $Y$ , ц/га) на среднекультуренной дерново-подзолистой почве хорошо аппроксимируется следующей зависимостью (В.М.Ковалев, 2000):

$$Y = 102,3 + 27,09X_1 + 0,69X_2 + 0,91X_3 - 8,4X_4 + 1,9X_5 - 8,25X_1^2 - 0,37X_2^2 - 4,2X_4^2 - 2,28X_5^2 + 0,14X_1X_2 + 1,15X_1X_3 - 1,1X_1X_4 - 0,68X_1X_5 - 0,0063X_2X_3 - 0,36X_2X_4 - 0,76X_2X_5 - 0,85X_3X_4 - 1,6X_3X_5 - 0,49X_4X_5,$$

где  $X_1$  – внесение азотных удобрений, кг/га;  $X_2$  – внесение  $P_2O_5$ , кг/га;  $X_3$  – внесение  $K_2O$ , кг/га;  $X_4$  – число укосов;  $X_5$  – высота скашивания, см.

Численные эксперименты на данной модели показали, что данных почвенно-климатических условий оптимальные уровни факторов составляют:  $N$  – 450 кг/га,  $P_2O_5$  – 0,  $K_2O$  – 80 кг/га, число укосов 3, высота скашивания 6-8 см.

Максимальный потенциальный урожай многолетних трав можно определить по зависимости (В.М.Ковалев, 2000):

$$Y_Q = \frac{\sum(Q-b)K_Q r}{q},$$

где  $Q$  – сумма приходящей ФАР за период вегетации, ккал/га;  $b$  – сумма ФАР выше плато светового насыщения для посева данного вида, ккал/га;  $K_Q$  – максимальный теоретически возможный КПД ФАР на образование общей биомассы растений в среднем за период вегетации при оптимальных условиях температуры, увлажнения, питания;  $r$  – доля урожая в общей биомассе;  $q$  – калорийность сухого вещества, ккал/100 кг.

$$K_Q = 0,28(1-D)\Pi(1-R_K-R_N),$$

где 0,28 – максимально теоретически возможный КПД поглощенной ФАР на фотосинтез при 8-9- квантовом расходе;  $D$  – общие затраты ассимиляторов на дыхание, равны в среднем 0,4 от фотосинтеза, в том числе затраты на темновое дыхание – 0,15 и на фотодыхание – 0,25;  $\Pi$  – среднее значение коэффициента поглощения ФАР посевами за период вегетации;  $R_K$ ,  $R_N$  – затраты сухого вещества на корневые выделения, отмирание корней и листьев ( $R_K$ ), азотфиксацию ( $R_N$ ). Для клевера лугового  $R_K$  и  $R_N$  составляют в среднем по 5% от фотосинтеза. В табл.4.6 приведены значения основных параметров рассматриваемых уравнений, установленных экспериментально.

При отсутствии данных по приходу ФАР потенциальную продуктивность многолетних трав можно рассчитать по сумме эффективных температур (В.М.Ковалев, 2000).

$$Y_{Qt} = a_t \sum [t - t_n - (t - c_t)^{1,4}] \text{ при } t > c_t;$$

$$Y_{Qt} = a_t \sum (t - t_n) \text{ при } t \leq c_t,$$

где  $a_t$  и  $c_t$  – статистические коэффициенты, равные для ежи сборной и кострца безостого соответственно 0,010 и 17, овсяницы луговой 0,0095 и 17, клевера лугового 0,0085 и 17;  $t$  – среднесуточная температура за период вегетации, °C;  $t_n$  – начальная температура роста биомассы культуры (табл.4.7).

**Таблица 4.6.** Параметры уравнений для расчетов урожайности многолетних трав (В.М.Ковалев, 2000)

Параметр	Фаза развития в период уборки урожая	Ежа сборная и травосмеси с ее участием	Кострец безостый, овсяница луговая, тимофеевка	Клевер луговой
$K_Q$	в среднем за период вегетации	0,095	0,092	0,083
	за первый укос	0,107	0,102	0,100
$r$	в начале цветения	0,70	0,68	0,60
$q$ , тыс.ккал/ц	то же	450	450	450
$\Pi$	то же	0,57	0,55	0,55

**Таблица 4.7.** Критические температуры произрастания некоторых многолетних трав (по В.М.Ковалев, 2000)

Характеристика	Ежа сборная	Овсяница луговая	Тимофеевка луговая	Кострец безостый	Клевер луговой
Начальная температура роста биомассы культуры, °С	3 (0-2)	4	4	4	4 (4-6)
Оптимальная дневная температура, при которой обеспечивается максимальная скорость роста урожая, °С	23	24	24	24	24

При формировании растительности злакового фитоценоза основная роль принадлежит начальному составу травосмеси и минеральным удобрениям (П.С.Макаренко, Ю.А.Векленко, 2004). В опытах на серых лесных среднесуглинистых почвах на лессе со средним содержанием питательных веществ в пахотном слое доминантом среди сеяных злаковых трав была ежа сборная, доля которой в урожае составляла 34,2-48,9%, а наименьшую конкурентную способность имел плевел многолетний – 4,2-11,4%. На смену видового состава сеяных бобово-злаковых травостоев значительное влияние имели предшественники и способы использования травостоев. Сидеральные удобрения, особенно люпиновые, в сравнении с чистым паром, увеличивали процентное содержание злаковых трав в ледвянцево-злаковой смеси, в среднем на 6%, а в их смеси с козлятником восточным – на 7%. Постоянное сенокосное использование бобово-злаковых травостоев и его чередование по годам с выпасом скота способствовало сохранению в них 31,8-44,3 леденца рогатого и 24,8-36,5% козлятника восточного, что на 13,9-18,1% и 5,8-9,0% больше, чем при постоянном пастбищном использовании.

Уровень урожайности разнотипных травостоев в зависимости от погодных условий можно определить по зависимостям (П.С.Макаренко, Ю.А.Векленко, 2004):

Для злакового травостоя:

$$Y_1 = 11,2865 + 0,1070X_1 - 0,0065X_2;$$

где  $X_1$  – количество осадков, мм;  $X_2$  – сумма эффективных температур, °С.

Для бобово-злакового травостоя с ледвянцом рогатым:

$$Y_2 = 12,8105 + 0,1453X_1 - 0,0109X_2;$$

Для козлятничково-злакового травостоя:

$$Y_3 = 10,6697 + 0,0627X_1 - 0,0050X_2.$$

Коэффициенты множественной корреляции варьируют в пределах 0,6807-0,7729.

Динамику потери продуктивности естественным растительным сообществом в результате деградации растительного покрова В.И.Петров и В.П.Воронина (2008) описывают полиномом 2 степени:

$$Y = 12,075X^2 - 87,645X + 174,58, \quad r=0,9954,$$

где  $Y$  – продуктивность фитоценоза в % от заповедных не деградированных угодий;  $X$  – степень деградации: 1 – очень слабая (в основном выпасаются дикие животные) – выпадают лилиецветные, лилейные, гераниевые виды, биоразнообразие высокое в основном за счет разнотравья; 2 – слабая – выпадают крупнодерновинные злаки (ковыли, житняки, бобовые), преобладают мелкодерновинные злаки (овсяница овечья, волоснец), костры, типчак, полукустарники семейства маревых и сложноцветных; 3 – средняя – доминируют злаковые одноцветники: мятлики, костры, среди кустарников и полукустарников: полыни, прутник, внедряются рудеральные виды: липучка, люцерна желтая, спорыш; 4 – сильная – доминируют однолетники из семейства маревых, крестоцветных, злаковых, полукустарники почти отсутствуют, их заменяют молочай и эбелек. В табл.4.8 представлены индикаторные признаки динамики деградации пастбищ.

$$Y=31X^2 - 226X + 452,5, \quad r=0,9957,$$

где  $Y$  – продуктивность фитоценоза в г/м<sup>2</sup>,  $X$  – степень деградации.

Зависимость урожайности деградированных пастбищных угодий ( $Y$ , ц/га) от температуры воздуха ( $X$ , °С) согласно (В.И.Петров, В.П.Воронина, 2008) выглядит следующим образом:

$$Y = -0,0009X^3 - 0,0394X^2 - 0,2763X + 0,7177, \quad r = 0,9995.$$

Отрастание пастбищных растений на деградированных пастбищах начинается при среднесуточной температуре воздуха 0,3-0,4 °С и максимальной продуктивности фитоценозы достигают при 24 °С. Валовое нарастание биомассы продолжается до середины-конца июня. Дальнейшее повышение температуры (выше 24 °С) ограничивает прирост биомассы. При достижении критической температуры начинается массовое выгорание злаков. К этому времени практически не остается продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы и поэтому только растения с глубокой корневой системой и устойчивые к высоким температурам способны к дальнейшей вегетации – это полыни, солянки, прутняк, камфоросма и др., а их, как правило, в составе сильнодеградированных фитоценозов почти нет (В.И.Петров, В.П.Воронина, 2008).

**Таблица 4.8.** Диагностика пастбищ по степени деградации растительного покрова (В.И.Петров, В.П.Воронина, 2008) (\*-от заповедных условий)

Пастбище	Индикаторные показатели				
	проективное покрытие,%	потери биомассы, %	возрастная структура ценозов	состав фитомассы, %	состав жизненных форм, %
Слабо-сбитое	более 75	0-5	Наличие особей всех возрастных структур оптимальном количестве	Доминанты+ субдоминанты- в 50-70, разнотравье 30-50	Полукустарники-55, однолетники-40, другие виды - 5
Средне-сбитое	75-50	45-50	Доминируют генеративные особи, мало ювенильных и сенильных растений	Доминанты+ субдоминанты- в 70-80, разнотравье 20-30	Полукустарники-45, однолетники-50, другие виды - 5
Сильно-сбитое	50-25	60-70	Сенильные группы кустарников и полукустарников, генеративных эфемеров и эфемероидов, ювенильных растений почти нет	Доминанты+ субдоминанты- в 80-90, разнотравье 10-20	Полукустарники-5, однолетники-90, другие виды - 5
Очень сильно-сбитое	менее 25	75-90	Доминируют сенильные группы растений всех ботанических групп, отсутствуют ювенильные растения	Доминанты+ субдоминанты- в 95-100, разнотравье 5-10	Полукустарники-0-1, однолетники-10, другие виды - 90

#### 4.1.4. Моделирование продукционного процесса в древесном сообществе

Моделирование динамики растительных сообществ представляет собой основную тему геоботанических исследований. Решение задачи представляется многоуровненным и, как правило, многоэтапным (В.В.Галицкий, 1981):

1. Наиболее общий (наименее детальный) подход к решению этой задачи предложил З.Г.Ф.Хильми (1957). Эта модель древостоя считается моделью «минимального угла зрения». Описание динамики запаса насаждений здесь проводится с позиций энергетического баланса единицы площади, занятой чистым одновозрастным древостоем. При этом



древостой рассматривается им фактически как некоторая пленка живого вещества, поглощающая приходящую энергию и увеличивающая свой объем со скоростью, пропорциональной потоку свободной энергии насаждения, т.е. пропорционально разности между падающей энергией и энергией, затрачиваемой на поддержание уже существующего запаса.

Очевидно, что без учета многочисленных видов структур (геометрической, возрастной, генотипической, видовой и т.п.) нельзя понять и описать динамику сообщества, особенно на временных промежутках, на которых эти структуры интенсивно меняются из-за внутренних или внешних причин: отпад, смена поколений, сукцессия и т.д., а внешний энергетический баланс территории остается неизменным. Для некоторого «приближения» к объекту нужно построить модель большего «угла зрения», чем это обеспечивает энергетический подход.

2. Полагая, что построение такой модели требует учета какого-либо типа структуры сообщества, мы уже получаем в принципе возможность построения различных рядов моделей.

Рассмотрим модель, учитывающую геометрическую структуру сообщества, т.е. наличие в древостое деревьев. При этом степень «приближения» должна определяться тем, чтобы «увидеть» лишь деревья, но не их более мелкую структуру. В чистых одновозрастных сообществах наиболее существенным фактором, определяющим динамику сообщества и судьбу отдельных растений, является конкуренция за площадь роста. Здесь можно рассматривать растения в виде пленки живого вещества, расположенной на части территории сообщества, которая неким способом определена для данного растения.

Таким образом, для построения модели растительного сообщества, следующей в ряду моделей за моделью Хильми, необходимо построить начальную в своем ряду модель динамики биомассы растения, являющуюся субмоделью в модели сообщества. Эта модель является исходной для ряда более детальных моделей и основывается на следующем:

- а) используется закон сохранения вещества в его балансовой форме;
- б) используется представление о свободно растущем растении, которое характеризуется двумя функциями возраста  $T$ :  $A_f(T)$  – площадь, необходимая для свободного роста, и  $V_f(T)$  – биомасса свободно растущего растения;
- в) используется представление о биомассе растения, как о той части полной его массы, в которой имеет место значимый обмен веществ;
- г) приходная статья баланса пропорциональна отношению имеющейся площади для роста к площади, необходимой для свободного роста;
- д) расходная статья баланса представлена затратами на поддержание биомассы.

Конструируя из таких моделей растения модель сообщества, обладающего геометрической структурой, рассмотрим сообщество с

наиболее простой структурой – геометрически почти однородное сообщество. Под однородным сообществом понимаем сообщество, состоящее из генотипически однородных растений одного возраста, расположенных на однородной территории исходно геометрически правильным образом (например, квадратная решетка). При достаточной густоте в таком сообществе в некоторый момент времени из-за коллективного самоугнетения должно произойти одновременное массовое отмирание растений (в идеальном случае – всех сразу).

Обычно даже культурное растительное сообщество генотипически неоднородно, территория им занимаемая мозаична по своим свойствам, а расположение растений отклоняется от геометрически правильной решетки. Поэтому обычно катастрофических отмираний не наблюдается.

В культурных сообществах (насаждениях) при достаточной их однородности и густоте, к некоторому возрасту почти все растения сообщества должны попасть в угнетенное состояние, и биомасса каждого из них начнет уменьшаться. Вследствие некоторой неоднородности сообщества часть растений успеет несколько раньше отмереть или настолько ослабнуть, что за их счет соседи фактически смогут увеличить свои площади роста и биомасса каждого из оставшихся в живых начнет снова увеличиваться. При достаточно высокой исходной геометрической однородности после такого изреживания определенная геометрическая однородность сообщества должна сохраняться, и через некоторое время коллективное самоугнетение и изреживание сообщества могут повториться.

Явление коллективного самоуправления в однородном растительном сообществе и колебательных изменений биомассы его членов может кроме очевидного теоретического, представлять также и практический интерес, т.к. образование хозяйственно ценных органов связано с уменьшением биомассы растений.

Колебательные изменения биомассы наиболее четко прослеживаются для самых густых сообществ. С увеличением шага посадки колебательные изменения фитомассы начинаются при более поздних датах. Примеры формы размещения растений по площади полигонов представлены на рис.4.1.



**Рис. 4.1. Полигоны возможного распределения растений по площади**

Динамика биомассы растительного сообщества и судьба его членов непосредственно и сильно зависит от горизонтальной геометрической структуры сообщества, т.е. от расположения растений на территории, занимаемой сообществом. Растения, не обладающие достаточной

площадью для роста, отмирают, а освободившаяся площадь делится между оставшимися в живых соседями. В связи с этим начальная мозаика, соответствующая начальному этапу развития сообщества, постепенно меняется: число полигонов уменьшается, а их площади растут и меняется их форма.

Вопрос динамики перераспределения растений по площади практически не исследован.

3. В следующих моделях изучаемого ряда можно учесть форму полигона и расположение в нем самого растения, тогда можно адекватно описать ситуацию роста растения на узких и длинных полигонах, имеющих площадь большую, чем площадь свободного роста растения.

4. Далее возможна модификация модели путем описания динамики азимутальной структуры распределения биомассы растения в зависимости от формы полигона и расположения на нем растения, т.е. от пространственного расположения соседних растений.

5. Другой ряд моделей можно построить, если ввести в рассмотрение вертикальную структуру растения, например, путем учета надземной и подземной частей растения – двухслойную пленку живого вещества.

Поскольку время образования и созревания хозяйственного урожая (зерна) определяется, например, температурным режимом, а конкретная динамика биомассы растений сообщества еще и его геометрической структурой, то в таких однородных сообществах урожай зерна, положительно коррелирующий с сухой фитомассой, видимо, не столь однозначно, как это обычно понимается, связан с дозой удобрений. Иначе говоря, в достаточно однородных сообществах биомасса сообщества и отдельных его членов может меняться во времени немонотонно. Такая немонотонность при определенных условиях (в частности погодных) может приводить к аномальным результатам: с увеличением доз удобрений урожай зерна может снижаться. Поэтому современная технология сельскохозяйственного производства, основанная на однородности культурных сообществ, должна сопровождаться более детальным анализом ее следствий.

В качестве примера можно привести изменение структуры сада и его урожайности с течением времени. Так, исследования урожайности яблоневых садов на рыхлом выщелоченном черноземе и плотной лугово-черноземной почве показали, что на первой к 31 году жизни сохранилось около 25% деревьев, а на второй к 27 годам все деревья погибли (С.Ф.Неговелов и др., 1980). Причем, на выщелоченном черноземе деревья дали максимальный урожай в возрасте 23-28 лет, несмотря на то, что к этому времени сохранилось меньше половины растений. К 30 – ти годам урожай резко снизился. На лугово-черноземовидной почве максимальные урожаи получены с 12-15 летних деревьев. К 17 годам сад был сильно изрежен, урожайность его сильно упала.

В.П.Тимофеев (1980) исследовал особенности роста сосны обыкновенной в смешении с липой мелколистной на маломощнодерновых

средне- и слабоподзолистых легкосуглинистых почвах в длительных опытах. Сосна высаживалась в 4-летнем возрасте, липа – в 3-летнем, междурядья 2,13 м, а расстояние между растениями в ряду 1,07 м из расчета на 1 га 4350 растений – по 2175 растений сосны и липы при равномерном смешении через одно растение. Вырубались лишь усохшие и сломанные ветром деревья. Результаты перечета деревьев в разные годы их жизни представлены в табл.4.9 в раннем возрасте липа росла медленнее сосны. Будучи низкорослой и богато облиственной, липа хорошо затеняла почву и нижние части стволов и мутовок сосны, что способствовало ее очищению от сучьев, подавлению сорной травяной растительности напочвенного покрова и корневых отпрысков осины, препятствовало поселению личинок вредных насекомых, почва удобрялась обильным и быстроразлагающимся опадом, а испарение влаги верхних горизонтов уменьшалось. Все это улучшало условия роста сосны, благодаря созданию плотного 2-го яруса под нею. В 60-летнем возрасте количество деревьев сосны и липы уменьшилось, причем сначала усыхало больше липы, а к 70 годам и дальше – больше сосны, К 80 годам сосны в насаждении оказалось в 2 раза меньше, чем липы. К 90-100-летнему возрасту насаждения сосны в нем уже осталось в 3 раза меньше, чем липы табл.4.9.

А.С.Чеканышкин, В.В.Тищенко (2009) изучили динамику насаждений в Докучаевских посадках лесополос в Каменной степи. В результате выявлено, что их насаждений состоящих из дуба черешчатого, клена остролистого, ясеня пушистого, сосны обыкновенной, а также примерно в равных долях присутствующих клена татарского, свидина, жимолости татарской, акации желтой, бересклета, боярышника и лоха узколистного (опушки) через 25-30 лет полностью исчезла сосна обыкновенная. За счет переноса семян из соседних полос появились: ильмовые породы, липа, береза, ясень обыкновенный, вяз и др. Современное состояние взрослых насаждений по форме представляет собой сложные многоярусные древостои с высокими показателями. В первом ярусе господствует дуб черешчатый, где его запас составляет 50-80% всего запаса древесных пород. На клен остролистный в первом ярусе приходится 10-30% запаса, во втором ярусе – 40-80, в третьем – 100%. Совместное произрастание дуба и клена обеспечивает вытеснение из господствующего полога ясеня пушистого. Из-за отсутствия во взрослых насаждениях семенного подроста дуба и недостаточного количества подроста других главных и ценных пород следует в будущем ожидать смены дуба кленом остролистным и ясенем обыкновенным с формированием господствующего положения в верхнем ярусе либо чистого клена, либо клена с ясенем (А.С.Чеканышкин, В.В.Тищенко, 2009).

По данным В.В.Тищенко и С.И.Годунова (2008) дуб черешчатый и ясень пушистый не выпадают из состава древостоя до 100-летнего возраста, в то время как береза повислая к 40-летнему возрасту выпадает из состава древостоя.

**Таблица 4.9.** Изменение с возрастом таксационных показателей насаждений сосны с липой на 1 га, квартал 7, пр. пл. Ж<sup>6</sup> (опыт 1) (В.П.Тимофеев, 1980) (в числителе – сосна, в знаменателе – липа)

Год передела	Возраст, лет	Число деревьев, шт	Площадь сечения, м <sup>2</sup>	Средние		Запас, м <sup>3</sup>		Естественный опад	Средний годичный прирост по запасу, м <sup>3</sup>	Общая продуктивность, м <sup>3</sup>
				Диаметр, см	Высота, м	по породам	общий			
1888	18/ 17	2175/ 2034	17,76/ 1,25	9,9/ 2,8	-	-	-	-	-	-
1892	22/ 21	2175/ 2034	27,43/ 2,93	12,5/ 4,3	11,0/ 5,0	-	-	-	-	-
1912	42/ 41	1720/ 1831	42,74/ 11,29	17,8/ 8,9	17,0/ 7,5	396,6/ 48,6	445,2	14,0/ 0,6	9,4/ 1,1	459,8
1922	52/ 51	1202/ 1387	38,90/ 16,72	20,3/ 12,4	19,0/ 14,0	360,6/ 91,5	452,1	85,4/ 11,7	6,9/ 1,7	549,2
1932	62/ 61	1147/ 1091	42,35/ 22,56	21,7/ 16,3	20,5/ 16,0	392,3/ 152,7	545,0	93,2/ 12,2	6,3/ 2,5	650,4
1937	67/ 66	925/ 980	38,09/ 24,76	22,0/ 18,0	21,0/ 17,0	382,4/ 192,5	581,9	124,3/ 19,9	5,7/ 3,0	726,1
1942	72/ 71	758/ 896	34,58/ 22,00	24,1/ 18,0	22,0/ 18,0	356,3/ 181,0	537,3	162,7/ 39,8	5,0/ 2,6	739,8
1947	77/ 76	499/ 814	24,04/ 20,71	24,7/ 18,0	22,5/ 18,5	239,7/ 184,6	424,3	278,8/ 48,6	3,1/ 2,4	751,7
1952	82/ 81	425/ 714	21,08/ 28,95	25,1/ 21,1	23,0/ 19,0	221,2/ 239,8	461,0	313,6/ 48,6	2,7/ 3,0	823,2
1957	87/ 86	351/ 758	17,20/ 31,44	24,9/ 23,01	23,5/ 19,5	180,8/ 279,4	460,2	354,7/ 62,4	2,1/ 3,2	877,2
1962	92/ 91	259/ 758	14,05/ 36,43	26,4/ 24,7	24,0/ 21,0	151,8/ 324,3	476,1	397,9/ 62,4	1,6/ 3,6	936,4
1967	97/ 96	203/ 758	12,02/ 38,45	27,3/ 25,4	24,5/ 22,0	130,3/ 346,0	476,3	431,2/ 62,4	1,3/ 3,6	969,9
1972	102/ 101	203/ 758	12,02/ 40,13	27,5/ 26,0	25,0/ 23,0	132,0/ 367,2	495,2	431,2/ 62,4	1,3/ 3,6	988,8
1977	107/ 106	203/ 740	12,2/ 51,22	27,7/ 29,7	26,0/ 24,0	133,3/ 488,2	621,5	431,2/ 68,8	1,2/ 4,6	1121,5

Л.М.Битков (2008) провел исследования связи лесорастительного процесса с биоритмом вегетативного роста доминирующих деревьев ели европейской. Биоритм выявлен на этапе большого роста доминирующих деревьев ели европейской по диаметру. Его сущность заключается в ритмичном чередовании двух фаз различной скорости вегетативного роста по диаметру: высокой и низкой, когда прирост по диаметру соответственно больше и меньше мезора (табл.4.10). За период с 1960 по 1999 были выявлены 5 хороших урожаев семян в фазу высокого роста и 3 хороших урожая в фазу низкого прироста ели. Деревья, возобновившиеся в фазе высокой скорости вегетативного роста по диаметру росли в высоту: у ели в

1,6 раза, у липы в 1,4 раза быстрее, чем деревья, возобновившиеся в фазу низкого роста. Погодичное сравнение индексов прироста по диаметру между елью европейской и липой мелколистной показали их асинхронную динамику. Несовпадение в астрономическом времени однотипных фаз скорости вегетативного роста ели и липы указывает на дифференциацию данных эдификаторов хвойно-широколиственных лесов центра Русской равнины по временным экологическим нишам и существование видовых мини-волн, возникающих в процессе формирования одного поколения и позволяющих данным видам растений избегать конкурентного исключения, и возобновляться в благоприятное для каждого из них время. В фазы высокого роста деревья наиболее устойчивы к любым видам стрессовых ситуаций (вредители, климат и т.п.) и наиболее позитивно реагируют на изменения, вносимые в биоценоз.

**Таблица 4.10.** Временные дозы роста деревьев ели европейской (Л.М.Битков, 2008)

№ фазы	Годы начала и окончания фаз скорости вегетативного роста по диаметру	Число лет в фазе скорости вегетативного роста по диаметру	Тип аномалий прироста
1	1884-1918	35	высокий
2	1919-1943	25	низкий
3	1944-1979	36	высокий
4	1980-2003	24	низкий

По данным С.И.Чумаченко (2008) также выявлено, что влияние удобрений на динамику радиального прироста сосны достигает наибольших значений в максимуме дендроцикла. Наибольший эффект от внесения удобрений достигается на 3-й – 4-й год после их внесения. Продолжительность влияния удобрений на прирост составляет 7-9 лет, при повторном внесении до 13 лет и зависит еще от вида удобрений.

Неоднократно в литературе обращается внимание на волны усыхания дубрав на Европейской территории России и стран СНГ. По данным Н.Н.Селочник (2008) за последние 100 лет выявлено 3 таких волны. В качестве причин выдвигаются такие факторы как изменение солнечной активности, экстремальные погодные условия, гидрологические факторы, повреждения дуба вредителями и болезнями, антропогенные влияния и т.п. С увеличением загрязнения уменьшается запас древостоя и его жизненность, видовое разнообразие живого напочвенного покрова, тормозятся процессы возобновления, увеличивается доля сухостоя. Время восстановления лесной экосистемы после техногенного разрушения оценивается более чем в 2000 лет (Н.Н.Селочник, 2008).

С возрастом деревьев яблони количество нестандартных плодов у них динамично возрастает, а к 15 летнему периоду составляет 11,2%, к 20 – 18,7%, к 25-30 – 21,9-26,2% (Р.С.Шидаков, А.С.Шидакова, Х.Р.Шопаров, 2008). Товарная сортность в урожае определяется, прежде всего, тремя факторами: наследственным потенциалом, величиной годового урожая и

характером ветвления кроны. При уменьшении воздушной аэрации и освещения плоды мельчают. В табл.4.11 представлена информация по периодичности плодоношения некоторых древесных растений.

В упрощенном виде уравнение баланса фитомассы растительности может быть записано следующим образом:

$$\Phi_{t+1} = \Phi_t + \text{Пф}\Delta t - \text{В}_0\Delta t - \text{В}_x\Delta t$$

$\Phi_t; \Phi_{t+1}$  – фитомасса в момент времени  $t$  и  $t+1$ ;  $\text{Пф}$  – прирост фитомассы, определяется в зависимости от суммарного испарения или эвапотранспирации (см. также гл.4.1.1);  $\text{В}_0$  – потеря фитомассы в связи с опадом, определяется в зависимости от вида растений и ее начальной фитомассы;  $\text{В}_x$  – потеря фитомассы в связи с хозяйственной деятельностью;  $\Delta t$  – приращение времени.

Годичный прирост леса по климатическим показателям можно оценить по формуле (И.Века (J.Weck, 1954, 1957) для климатического индекса прироста  $i$ :

$$i = [(N/(T+10))(n/92)][(z-60)/100],$$

где  $N$  – осадки мая, июня, июля (мм);  $T$  – средняя температура этих же месяцев (в сотнях градусов);  $n$  – число дней с осадками меньше 0,1 мм за эти месяцы;  $z$  – число дней в году с положительными средними температурами; 60 – минимальное число дней с положительными температурами, необходимое для роста деревьев.

**Таблица 4.11.** Плодоношение основных видов древесных растений (П.Г.Кальной и др., 1986)

Порода	Возраст начала плодоношения, семенных лет		Периодичность плодоношения, лет	Урожай семян, кг/га	
	свободно стоящих деревьев	насаждений		в среднем	в семенные годы
Береза бородавчатая	7-10	20	1-2		
Бук лесной	20-40	50-60	3-10	350	1000
Граб обыкновенный	10-15	15-20	1-2	100-150	450
Дуб черешчатый	10-15	20-30	3-10	400-700	2000
Ель обыкновенная	10-15	25-30	3-8	20-25	100
Клен остролистный	10-15	20-30	2-4	160	-
Липа мелколистная	10-15	20-30	1-3	-	-
Лиственница сибирская	10-15	20-30	3-8	20-45	85
Ольха черная	7-10	10	1-2	-	-
Осина	7-10	20	1-2	-	-
Пихта сибирская	15-20	40-50	2-4	30	120
Рябина обыкновенная	-	4-5	1-3	15	-
Сосна кедровая сибирская	20-25	50-60	3-5	45	90
Сосна обыкновенная	10-15	20	2-10	2-6	20
Ясень обыкновенный	10-15	20-30	1-4	100	-

По Х.Патерсону (S.S.Paterson, 1956) климатический индекс продуктивности (CVP) оценивается как:

$$CVP = (T \times N \times G \times E) / (T_a \times 360 \times 100),$$

где T – средняя температура самого теплого месяца (°C); N – среднее годовое количество осадков (мм); G – продолжительность вегетационного периода с температурами >7°C (в днях); E – коэффициент эвапотранспирации, или редуцированный коэффициент на транспирацию и испарение, или индекс радиации, зависящий от широты местности и характеризующий соотношение солнечной радиации на полюсе и в районе оценки годичного прироста леса. Эвапотранспирационный коэффициент выражается в процентах и рассчитывается по формуле:

$$E = 100R_p/R_s,$$

где  $R_p$  – количество радиации на полюсе;  $R_s$  – количество радиации на месте исследования. E меняется от 40% на экваторе до 90% на севере Сибири. Климатический индекс продуктивности (CVP) меняется от 0 до 10000-30000, причем макроклиматически обусловленная граница леса находится при  $CVP = 25$ .

Средний годичный прирост леса ( $Y$ , м<sup>3</sup>/га/год) в большом сибирском регионе выражается следующим образом (В.Л.Черепнин, 1999):

$$Y = -3,193 + 4,094X_1 + 0,082X_2 - 1,119X_1^2 + 0,289X_1X_2 - 0,045X_2^2, \quad (r = 0,86)$$

где  $X_1$  – средняя многолетняя сумма эффективных температур воздуха более 10°C (единица измерения 1000°);  $X_2$  – средняя многолетняя сумма осадков за год (единица измерения 100 мм).

Влияние суммы осадков на рост сосновых насаждений на песчаных поймах в течение года не однозначно: за июль-сентябрь это влияние не превышает 11%, за весь гидрологический год 17-25%, за теплый период – 17-29%, за апрель-июнь – 19-34% (А.С.Манаенков, В.О.Аверьянов, 2009). С возрастом древостоя и углублением вертикальных корней, а также с притуплением прироста (снижением транспирационной активности) воздействие осадков уменьшается и с года устойчивого контакта с капиллярной каймой грунтовых вод становится малозаметным. Надежным показателем лесопригодности земель засушливого пояса является стабильность увлажнения корнеобитаемого слоя по годам, а ее отражением – равномерность текущего прироста сосны в высоту в молодом возрасте и продолжительность периода большого роста. Связь среднего прироста насаждений в высоту с основными показателями почвенно-грунтовых условий для разных периодов жизни подчиняется функциям (А.С.Манаенков, В.О.Аверьянов, 2009):

для периода жизни с 11 до 20 лет:

$$Zh_{cp(11-20)} = 0,989Гл - 5,16УГВ + 64,8, \quad (r=0,79),$$

для периода жизни с 21 до 30 лет:

$$Zh_{cp(21-30)} = 0,277Гл - 5,87УГВ + 67,0, \quad (r=0,78),$$

для всего периода жизни:

$$Zh_{cp(все\ годы)} = 0,583Гл - 4,47УГВ + 55,6, \quad (r=0,78),$$



где  $Zh_{cp(\dots)}$  – средний прирост в высоту за соответствующий период жизни; Гл – средневзвешенное содержание физической глины в корнеобитаемом слое, %; УГВ – уровень грунтовых вод в межень в м.

Влияние влагоемкости и минерального богатства корнеобитаемого слоя на рост сосны в среднем на протяжении всей их жизни составляет 24%, в первые годы жизни это влияние выше (33%). Влияние уровня грунтовых вод, наоборот, увеличивается в течение жизни насаждений с 43% до 58%, в среднем составляя 50% (А.С.Манаенков, В.О.Аверьянов, 2009).

Для горных лесов В.М.Ивонин с соавторами (2009) определили зависимость роста в высоту (Н) и диаметра (d) лесных пород в зависимости от возраста (n) насаждений:

для пихты:

$$H = 0,07n + 15,28; \quad r = 0,976 \pm 0,017;$$

$$d = 0,27n - 3,27; \quad r = 0,965 \pm 0,024;$$

для бука:

$$H = 0,1n + 14,03; \quad r = 0,676 \pm 0,145;$$

$$d = 0,28n + 5,43; \quad r = 0,859 \pm 0,07.$$

Применение прямых и линейных уравнений ограничено нижним пределом  $n = 40$  лет. Верхний предел для пихты составляет 370 лет, для бука – 190 лет.

Зависимость диаметра сосновых древостоев Красноярской лесостепи от возраста и среднего расстояния между деревьями представляется зависимостью (В.В.Кузьмичев, 2008):

$$D = -3,825 + (4,765 + 1,206 \sqrt{A-n}) \sqrt{L}, \quad R^2 = 0,953$$

где D – средний диаметр, см; A – средний возраст древостоя, лет; L – среднее расстояние между деревьями ( $100/N^{0,5}$ ), м; N – густота древостоя, шт/га; n – число лет, необходимое для достижения древостоями высоты 1,3 м.

Среднеквадратическое отклонение значений диаметра (D) определяется зависимостью:

$$\delta = 3,882L - 0,015L(A-n) - 0,409L^2 + 0,003L^2(A-n).$$

Имеется также опыт применения линейного программирования в агролесомелиорации для определения оптимального состава древесных пород на светлокаштановых слабосолонцеватых почвах Калмыкии (Е.Г.Химица, 1978). Для решения задачи климатические и почвенные условия территории сопоставляются с потребностями древесных пород (табл.4.12). Система неравенств, характеризующих соотношение требований древесных пород и условий их произрастания, составлялись из коэффициентов линейных неравенств:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i,$$

$$x_i \geq 0,$$

где  $a_{ij}$  – требования  $j$  –го вида к  $i$  –му условию;  $b_i$  – характеристика географического района по тому же признаку;  $x_j$  – участие древесных пород в долях от единицы (полного биоэкоза).

Цель задачи – определить, какая из древесных пород в данных лесорастительных условиях может иметь лучшую перспективу роста и развития, представляется целевой функцией:

$$F = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \max ,$$

где  $c_j$  – показатель ценности единицы компонента системы по целевому назначению.

В результате решения задачи определения главных древесных пород (Е.Г.Химица, 1978) по данным табл.4.12 выявлено, что при данном наборе древесных пород и условий их произрастания наиболее целесообразно в качестве главных пород выращивать в условиях полупустыни вяз мелколистный (приземистый), вяз обыкновенный и клен ясенелистный. Из плодовых культур наибольшую пригодность показала груша обыкновенная.

#### **4. 2. Многоуровневность структуры ценоза как основа оптимальности**

В естественных условиях фитоценозы всегда многовидовые. При формировании видового состава растительного сообщества решающую роль играют следующие факторы (Г.С.Посыпанов и др., 2006): конкуренция видов между собой, зависимость одних видов от других, наличие комплементарных видов.

Приспособленность видов к фитоценозу (биоценозу), в целом, и к каждому из структурных элементов экотопа в отдельности, А.Л.Бельгард (1950) характеризовал через «экоморфы» (жизненные формы), которые позволяют выявить особенности взаимосвязи растений с окружающей средой. В качестве признака, выражающего разные стороны строения и структуры растительных сообществ используют понятие фитоценотической активности растительных видов. Для его вычисления используют показатели встречаемости вида, его постоянства в растительной ассоциации, проективного покрытия, численности, широты эколого-ценотической амплитуды, массы надземных частей, микровстречаемости (локальной встречаемости). Предложен также интегральный показатель обобщенной оценки роли отдельной экоморфы (биоморфы) в структуре фитоценоза (В.В.Тарасов, 2005). Для его вычисления проективное покрытие экоморфы умножают на ее долю в флористическом составе, из полученного числа извлекают квадратный корень. Сумму, таким образом полученных величин, для всех присутствующих экоморф принимают за 100% и рассчитывают показатель участия отдельной экоморфы ( $A_1$ ), выраженный в процентах:

**Таблица 4.12.** Исходная информационная матрица на биоэкос для определения главных пород на эоловых светлокаштановых почвах Ергеней для почвозащитных лесных полос (Е.Г.Хими́на, 1978)

Номер ограничений	X <sub>1</sub> -дуб черешчатый	X <sub>2</sub> - клен ясенелистный	X <sub>3</sub> -Ясень зеленый	X <sub>4</sub> -Акация белая	X <sub>5</sub> - абрикос	X <sub>6</sub> - груша обыкновенная	X <sub>7</sub> - вяз мелколистный (приземистый)	X <sub>8</sub> -Вяз обыкновенный	X <sub>9</sub> - берест	Объем и типы ограничений
Сумма температур	3550	3850	3850	3350	3500	3750	3600	4350	3650	$\leq 3325$
Сумма осадков	400	380	380	360	450	370	390	340	375	$\leq 335$
Содержание азота	5,2	4,9	5,9	6,5	5,1	6,7	7,0	5,5	5,5	$\leq 4,5$
Содержание калия	33,8	18,2	18,8	24,1	26,6	19,7	22,8	48,4	18,6	
Содержание фосфора	2,6	1,4	2,7	3,1	2,9	1,4	2,6	1,3	2,5	$\leq 1,3$
pH	6,9	6,9	7,1	7,2	6,9	7,4	7,3	8,1	7,0	$\leq 6,9$
Содержание гумуса	5,2	4,7	3,2	2,5	4,6	2,4	2,3	2,4	5,6	$\leq 1,5$
Засухоустойчивость	1,2	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,0	$\leq 1,0$
Солеустойчивость	1,4	1,3	1,1	1,2	1,5	1,3	1,0	1,0	1,0	$\leq 1,0$
Морозоустойчивость	1,2	1,0	1,0	1,4	1,6	1,2	1,2	1,2	1,0	$\leq 1,0$
Энтомофитоустойчивость	1,4	1,0	1,3	1,2	1,3	1,2	1,3	1,1	1,3	$\leq 1,0$
Ландшафтно-эстетические свойства	1,1	1,0	1,2	1,2	1,3	1,0	1,4	1,2	1,3	$\leq 1,0$
Задача на максимальную высоту F <sub>1</sub>	8	8	6	10	4	6	10	5	7	$\rightarrow \max$
Задача на наибольшую долговечность F <sub>2</sub>	25	25	25	25	15	25	25	25	25	$\rightarrow \max$
Решение для F <sub>1</sub> : X <sub>7</sub> = 0,44556, X <sub>2</sub> = 0,10111; для F <sub>2</sub> : X <sub>7</sub> = 0,3497, X <sub>8</sub> = 0,15040, X <sub>6</sub> = 0,13947.										

$$A_1 = \frac{\sqrt{a_1 b_1}}{\sum_{i=1}^n (a_i b_i)} 100\% ,$$

где  $a_i$  – проективное покрытие  $i$ -ой экоморфы,%;  $b_i$  – видовая насыщенность  $i$ -ой экоморфы (ее доля от общего числа видов фитоценоза), %;  $i = 1, 2, 3 \dots n$ ;  $n$  – общее число экоморф;  $a_1$  – проективное покрытие 1-ой экоморфы;  $b_1$  – видовая насыщенность 1-ой экоморфы.

Этот показатель позволяет интегрально охарактеризовать роль отдельной экоморфы, судить о соотношении экологических ниш в ценозе (Е.И.Лисовец, 2009).

В современном растениеводстве все чаще рассматривают теоретические и прикладные аспекты смешанных посевов, при которых сочетание видов позволяет полно использовать ресурсы плодородия и уменьшать количество вносимых удобрений и пестицидов.

Поликкомпонентные сообщества создаются по принципу дифференциации экологических ниш, присущему естественным сообществам (А.Н.Каштанов и др., 1994). Однако реальные достижения, широко внедряемые в практику, пока отмечены в экваториальных и тропических широтах, где при круглогодичном вегетационном периоде можно проводить разновременные посев и уборку. В умеренной полосе подобные посевы ограничены в основном однолетними и многолетними кормовыми смесями. Очевидно, необходимо шире применять уплотнение посевов за счет совмещения двух и более культур. Повысить урожайность и устойчивость смешанных посевов можно, применяя также культуры, у которых различные по времени требования к питанию, теплу, свету и влаге, что позволит более разносторонне использовать условия природной среды.

При совмещенном посеве следует добиваться совмещения различающихся элементов структуры и динамики агрофитоценозов. Например, сочетания растений, характеризующихся разными типами и условиями развития: посадка по всходам, объединение в одном посеве скороспелых и позднеспелых, однолетних и двулетних форм и т.д. (А.Н.Каштанов и др., 1994).

На развитие растений определенное влияние оказывает степень неравномерности их размещения. Многие растения способны уплотнять сообщества за счет дополнительного кущения или ветвления, если метеорологические и почвенные условия этому способствуют.

Преимущества совместных посевов заключаются в улучшении свойств почвы благодаря большой массе корней и более разнообразному воздействию на ее физико-химические признаки. При увеличении густоты стояния растений противозерозионная устойчивость почвы повышается. Обычно при совместных посевах несколько улучшается водный режим благодаря несовпадению по времени максимальной транспирации у компонентов смеси и расположения корней в разных горизонтах, а также

некоторому уменьшению физического испарения почвенной влаги в результате повышенного затенения поверхности почвы (А.Н.Каштанов и др., 1994).

Совместные даже одновидовые посевы более устойчивы к вредным насекомым и болезням.

При разновидовых смесях в смешанных посевах учитывают аллелопатическое взаимодействие растений. Законы этого взаимодействия и оптимальный состав компонентов совместных посевов определяют экспериментально.

Разновидовые смешанные посевы при благоприятном межвидовом взаимодействии и отработанной технологии выращивания более полно используют питательные вещества почвы и удобрений, улучшают развитие микрофлоры и микрофауны, стабилизируют рН, подавляют размножение вредителей и сорняков.

Внутриполевое различие (прежде всего между агроландшафтными контурами в пределах агроландшафтного массива) иногда позволяет переходить к неравномерному размещению растений, хотя на практике этого не делают. В то же время при оптимальных нормах высева, рассчитанных по средним данным, отмечено неполное использование почвенно-климатических ресурсов. При искусственной реконструкции агроландшафтных систем, создание террас, контурных рубежей образуются полосы (экотоны) с высокой влажностью почвы, в которых при использовании повышенных норм высева можно обеспечить высокую продуктивность (А.Н.Каштанов и др., 1994).

Норма высева и густота стояния растений зависит не только от местных условий. Каждой культуре свойственен свой оптимум неравномерности. Очевидно, в местах повышенного увлажнения целесообразно не увеличивать норму высева основной культуры, а создавать там участок (полосу) современных посевов, что позволит полнее реализовать потенциальную продуктивность земель.

Смешанные посевы дают наибольший урожай и лучшего качества, если компоненты смесей подобраны по видовому и сортовому составу с учетом критериев их совместимости (Г.С.Посыпанов и др., 2006). В качестве таких критериев используют: морфологическую совместимость, почвенно-климатические и гидрологические условия, реакция почвенного раствора, уровень грунтовых вод, фотопериодизм культуры, обеспеченность элементами минерального питания, толерантность к пестицидам, темпы роста в начальные фазы развития, время наступления уборочной спелости, многоукосность и долголетие посевов и т.п.

Как говорилось в Гл.1 одновидовые посевы подвержены самоугнетению из-за конкуренции за одни и те же ресурсы. Применение же многовидовых посевов сдерживается технологией уборки урожая и т.п. Наибольшее развитие многовидовые посевы нашли в кормопроизводстве, а именно в создании улучшенных пастбищ и сенокосов. Опыт создания высокопродуктивных пастбищ показывает необходимость использования

травосмесей многолетних трав разных родов и биологических групп, которые обеспечивают более высокие и стабильные урожаи по сравнению с одновидовыми посевами бобовых или злаковых трав. При группировке видов трав по темпам роста и развития можно создать травостои с различными сроками использования: ранние, средние, поздние, что позволяет продлить период их использования на 28-35 дней без снижения качества кормов (П.С.Макаренко, В.С.Деркач, 2004). В ранние смеси включают ежу сборную, плевел многолетний, клевер ползучий и люцерну посевную, к среднеспелым смесям относят овсяницу луговую, кострец безосный, лядвенец рогатый, дополняя их низовыми злаками: овсяницей красной, тимофеевкой луговой, овсяницей тростниковой, поздние сорта: овсяница красная, плевел многолетний и лядвенец рогатый.

В растительном покрове степного Приднепровья экологическая роль ассоциаций мятлика лугового и мятлика узколистного заключается в образовании естественных дерновых покрытий, имеющих противозрозионное значение. Ассоциации с участием этих растений имеют широкий спектр местообитаний: мятлик узколистный встречается в условиях увлажнения от среднестепных до влажнолуговых, мятлик луговой – от лугово-степных до сыролуговых (по шкале Л.Г.Раменского) (Е.И.Лисовец, 2009). Растительные группировки с участием этих видов имеют сходную структуру. Активность ценоморф представляет здесь следующий убывающий ряд: рудеранты (сорные виды), пратанты (луговые виды), степанты (степные виды), сиванты (лесные виды), палюданты (болотные виды). Растительные сообщества с различным долевым участием мятлика лугового и мятлика узколистного характеризуются относительным постоянством цено-, гигро- и трофоморфной структуры видового состава. По показателю видовой насыщенности наиболее чувствительны к изменению фитоценотической роли мятлика узколистного рудеранты, мезокскрофиты и мезофиты, мятлика лугового пратанты, рудеранты, мезоксерофиты, ксеромезофиты и гигрофиты. При достижении в фитоценозах участия мятлика лугового и мятлика узколистного 50% от общего проективного покрытия и выше роль рудерантов в сообществе снижается.

Исследования (В.И.Дудченко и др., 2004) показали, что на дерново-подзолистых почвах наивысшая урожайность травостоя бобово-злаковых травосмесей наблюдается в смеси люцерны посевной с ежой сборной и кострцом безосным; люцерны посевной с овсяницей тростниковой и кострцом безосным; люцерной посевной и овсяницей тростниковой с плевелом многолетним. Наименьший выход сухого вещества наблюдался при двух компонентных смесях кострца безосного с ежой сборной и в смеси кострца безосного с овсяницей тростниковой.

На серой лесной среднесуглинистой почве наиболее стойкими злаковыми видами в травостое при пастбищном и покосно-пастбищном использовании оказались (П.С.Макаренко, В.С.Деркач, 2004) ежа сборная, овсяница луговая, тростниковая и красная. Последняя была наиболее

агрессивным видом, особенно на участках где выпали из травостоя тимофеевка луговая и плевел многолетний. Из бобовых видов наиболее стойкими в травостое оказались лядвенец рогатый и люцерна изменчивая. Клевер ползучий не выдерживал высоких температур и нехватки воды, в таких условиях он часто выпадал из травостоя.

Содержание в травосмесях двух верховых злаков, таких как ежа сборная или костреца безосного с овсяницей луговой или тимофеевки луговой с овсяницей тростниковой обеспечивало высокую урожайность. В то время как дополнение одного верхового злака двумя низовыми, в частности, овсяницей красной и плевелом многолетним приводит к снижению урожайности сухой массы травосмесей. Включение бобовых трав, к примеру, клевера ползучего и лядвенца рогатого в злаковые травосмеси существенно не влияло на увеличение выхода биомассы (П.С.Макаренко, В.С.Деркач, 2004), в то время как применение люцерны изменчивой с лядвенцом рогатым давало прирост урожая. Однако создание бобово-злаковых травостоев позволяет сэкономить до 180 кг азота минеральных удобрений, которые вносятся на злаковых травостоях без бобовых трав.

Конкурентоспособность между видами искусственно созданного травостоя существенно влияет на смену его ботанического состава во времени (О.М.Козяр и др., 2004). Динамика ботанического состава травостоев зависит от видового состава, уровня минерального питания, и года использования. Фосфорно-калийные удобрения способствуют развитию бобового компонента в агрофитоценозах (О.М.Козяр и др., 2004, по данным опытов на черноземах оподзоленных). Нитрофильные злаки интенсивно вытесняют люцерну посевную при удобрении травостоев NPK. Наиболее резкая трансформация бобово-злаковой травосмеси в злаково-бобовую отмечается в травосмесях, что сложены из люцерны посевной, костреца безосного: люцерны посевной, овсяницы обыкновенной: люцерны посевной, овсяницы тростниковой. Очевидно, верховые корневищные и короткокорневищные злаки по своим биологическим особенностям лучше реагируют на внесение минерального азота и в результате этого являются наиболее конкурентоспособными в агрофитоценозах. Причем, в первый год использования травостоев смена ботанического состава травостоем проходила медленно, в то время как в конце второго года использования наблюдалась более резкая дифференциация видов, входящих в травосмеси. Наблюдается увеличение количества злаковых видов. Ряд нисходящей агрессивности злаков по отношению к бобовым компонентам (люцерны посевной) выглядит следующим образом: костреца безосный, овсяница обыкновенная и овсяница тростниковая. Наименее конкурентоспособной относительно люцерны посевной была тимофеевка луговая. В конце 3-го года выращивания наблюдалась существенная трансформация бобово-злакового травостоя в злаково-бобовый. Быстрее всего этот процесс проходил на вариантах без удобрений.

На темно-серой оподзоленной почве (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004) исходный злаковый травостой с включением костреца безосного, овсяницы луговой, тимофеевки луговой и покровной плевела однолетнего и травостой из этих же злаков и клевера лугового постепенно, на четвертом году, трансформируется в кострецовое сообщество, а при добавлении к этим же злакам люцерны посевной – в люцерново-кострецовое. При высевании плевела однолетнего и подсевании в первый год смеси семян дикорастущих трав с доминированием пырея ползучего уже на третий год начальное плевело-разнотравное сообщество преобразуется в сообщество с содержанием пырея ползучего 65-85%.

Природные и сеяные луговые сообщества формируются с плотностью 1518-2562 побега на 1 м<sup>2</sup> и высотой 80±33 см при сенокосном использовании и 39±10 см – при многоукосном. Наибольшей высотой характеризуется кострец безосный и люцерно-злаковый травостой, наименьшею – пырей ползучий и залежь. Дополнительное внесение N140 увеличивает высоту сеяного злакового травостоя и перелога на 32-46%, а добавление к тем же злакам люцерны посевной – на 15-18%, клевера лугового – на 7-8% (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004).

В формировании залежи в первые четыре года при разных вариантах удобрения и использования принимают участие 39 несеяных вида с 13 семейств. Среди них наиболее распространенными (8-58% от общего количества) являются галинсога мелкоцветная (в первый год), пастушья сумка, одуванчик лекарственный, латук, метлица обыкновенная, подмаренник цепкий, подорожник большой и ланцетовидный, полынь обыкновенная и горькая, ромашка непахнущая. С годами количество многолетних корневых отростков и корневищ видов на залежи увеличивается от 7 до 68%. При залужении травосмесями количество несеяных видов, что принимают участие в формировании травостоя в первый год уменьшается в 1,3-1,5, а на четвертом – в 2-3 раза (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004).

Наибольшее влияние на формирование продуктивности восстановленных лугов в первые три года оказывает характер травостоя, а на четвертый – внесение удобрений (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004). На темно-серых оподзоленных почвах наибольшую продуктивность обеспечивает люцерно-злаковая травосмесь, продуктивность здесь на 17-39% выше, чем при клеверо-злаковом травостое, на 22-106% - чем при сеянном злаковом травостое и на 69-216% - чем на залежи (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004).

Все травостои слабо реагируют на внесение P<sub>60</sub>K<sub>120</sub>, с приростом урожая на 3-18%. На азотные удобрения лучше всего реагируют сеяный злаковый и залежный травостой. При внесении N<sub>140</sub>P<sub>60</sub>K<sub>120</sub> урожайность их и коэффициент использования ФАР увеличивается в 1,6-1,9 раз (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004). Наилучшим биохимическим составом кормов характеризуется люцерново-злаковый травостой. Азотные



удобрения более всего влияют на улучшение биохимического состава злаковых травостоев.

Под луговыми травостоями в 0-20 см слое почвы в корнях накапливается 73,8-131,0 ц/га сухой массы, 87-224 кг/га азота, 16-36 кг/га фосфора и 62-148 кг/га калия. У озимой пшеницы в фазе кущения масса корней и их противоэрозионная стойкость в 5-10 раз меньше (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004). При применении минерального и симбиотического азота бобовых накопление в корнях сухой массы и основных питательных элементов, а также их противоэрозионная стойкость увеличиваются в 1,1-1,5 раза.

Наибольший дефицит баланса азота на сеяном злаковом травостое, фосфора и калия – на люцерново-злаковом, и на всех травостоях без внесения удобрений. Коэффициенты использования азота из удобрений и почвы больше на злаковых травостоях, фосфора и калия из почвы – на бобово-злаковых (В.Г.Кургак, О.П.Лук'янец, 2004).

Бобовые травостои по годам имеют тенденцию изреживаться. Так, эспарцет на черноземе обыкновенном малогумусном маломощном среднесуглинистом уже на второй год использования существенно изреживается, а на третий зарос одуванчиком, пастушьей сумкой и пыреем. Изреживание достигло 80% в сравнении с первым годом использования. Люцерна имеет большую зимостойкость, поэтому меньше выпадает по годам использования. На третий год изреживание ее составило 52%. Злаковые травы, в том числе, кострец безосный, в первые 2-3 года за счет побегообразования увеличивают густоту травостоев (О.Ф.Севідов, 2004).

Изменения в густоте травостоев многолетних трав сильно влияют на их продуктивность. Особенно проявляется преимущество бобово-злаковых травосмесей там, где густота травостоев поддерживается за счет побегообразования злаковых трав. За счет применения бобовых трав можно получать урожай кормов и экономить при этом минеральные удобрения. Однако прирост урожая трав ограничен природным плодородием почвы и фактическими запасами влаги степной зоны (О.Ф.Севідов, 2004). Применение азотных удобрений на черноземе обыкновенном малогумусном маломощном среднесуглинистом существенно улучшает формирование травосмеси многолетних трав и особенно бобово-злаковых травосмесей. Внесение азотных удобрений увеличило в 1,5-1,7 раз побегообразование злаковых трав, увеличило густоту растений и предотвратило укоренение сорняков и других дикорастущих видов в травостое (О.Ф.Севідов, 2004).

В первые 1-2 года формируется травостой с преобладанием бобовых трав. Так, в двухкомпонентных люцерно- и эспарцето-костровых травосмесях доминантное положение занимала люцерна, на которую приходилось 67 и 59% соответственно. На третий год использования в составе агрофитоценозов преобладал кострец безосный (70%). Эспарцето-кострцовая травосмесь оказалась менее стойкой до изреживания из-за

невысокого долголетия бобового компонента, доля эспарцета уменьшилась до 10%. Эспарцето-кострецовая травосмесь лучше реагировала на внесение азотных удобрений по сравнению с люцерново-кострецовой, при внесении 60 кг азота на 1 га, на третий год использования она увеличивала урожай почти в 2 раза (О.Ф.Севідов, 2004).

Наиболее оптимальной по критериям стойкости к проникновению разнотравья для выращивания в условиях Северного левобережного геоботанического округа Украинской лесостепной провинции на лугово-черноземной крупно-пылеватой легкосуглинистой почве является травосмесь: тимофеевка луговая+ кострец безосный + плевел многоцветковый + люцерна посевная (А.П.Тертишний, 2004). Урожайность травосмесей превышает урожайность природного фона в 1,5-6 раз.

Соотношение между составляющими сеяного травостоя на 2 –м и последующих годах жизни отличается (М.Г.Меркушева и др., 1997) (табл.4.13). В травосмеси всегда доминирует один из видов, что обусловлено биологическими особенностями растений, а именно различием морфологического строения, темпами усвоения питательных веществ, продуктивностью фотосинтеза и др. Внесение азотных удобрений **Таблица 4.13.** Изменение видового состава и плотности сеяного злакового травостоя в зависимости от азотных удобрений (М.Г.Меркушева и др., 1997). (Аллювиальные остепненные луговые почвы. В первый год жизни травостой состоял из костреца безосного, пырейника (волоснеца) сибирского и овсяницы луговой в равных долях. После первой зимовки овсяница луговая из травостоя выпала)

Вариант	Видовой состав травостоя, % от веса сухой массы						Плотность травостоя, шт/м <sup>2</sup>			Среднее за 3 года
	Начало 2 года жизни			Конец 4 года жизни			год жизни			
	кострец	волоснец	разнотравье	кострец	волоснец	разнотравье	2	3	4	
Контроль	3,2	59,7	37,1	11,0	73,3	15,7	432	570	440	481
P60K60 (фон 1)	2,1	56,6	38,6	10,5	75,5	14,0	408	616	520	515
Фон 1 + N120 (60+60)	2,2	68,4	29,4	10,0	76,6	13,4	1246	1786	1624	1552
Фон 1 + N120 весной	1,7	69,9	28,4	12,5	75,3	12,2	1258	1674	1536	1489
Фон 1 + N120 осенью	2,2	64,3	33,5	10,5	76,3	13,2	1002	1544	1318	1288
Фон 1 +N180 (120+60)	2,0	80,0	18,0	14,4	74,6	11,0	1858	2518	2306	2227
P90K90 (фон 2)	3,0	57,2	39,8	7,0	75,0	18,0	1052	1296	1150	1166
Фон 2 + N240 (120+60+60)	2,2	81,9	15,9	14,0	76,0	10,0	1936	3664	2606	2735
P, %							2,64	1,82	2,12	
НСР <sub>05</sub> , шт./м <sup>2</sup>							92	92	86	

увеличивало долю волоснеца сибирского на 2-й и 3-й годы жизни, на кострец безосный их влияние проявилось на 4-й год. Количество разнотравья уменьшалось при внесении азотных удобрений. Дождевания также способствует развитию злаков и уменьшению доли разнотравья. Внесение азотных удобрений усиливает процесс побегообразования злаковых трав. В среднем за три года под действием удобрений плотность травостоя увеличилась в 2,5-5,7 раза. Повышение плотности травостоя зависели как от величины дозы вносимого азота, так и от сроков и кратности его внесения. Наибольшая плотность травостоя наблюдалась на третьем году жизни трав. Азотные удобрения также повышают долю зеленой фитомассы в 2,5-3,1 раза и снижали долю корневой массы по сравнению с контролем. Повышение азотного питания трав способствовало увеличению концентрации корней в 0-10 см почвы и очень значительному уменьшению их в нижележащих слоях.

Следует иметь в виду, что при создании совместных посевов возникает немало технологических трудностей, связанных с высевом семян, уборкой урожая, получением товарно-однородной продукции в условиях комплексной механизации сельскохозяйственных работ. Здесь многое зависит от выравненности посадочного материала, его межвидового воздействия (А.Н.Каштанов и др., 1994).

### **4.3. Моделирование структуры посевных площадей**

#### **4.3.1. Основные подходы к установлению оптимального соотношения природных и природно-хозяйственных угодий**

Еще В.В.Докучаев ставил вопрос о необходимости установления норм, определяющих относительные площади пашни, лугов, леса и вод. Современные ученые считают, что подходы землеустроительной службы к определению рациональных соотношений видов земельных угодий и других компонентов ландшафта носят умозрительный или элементарно-эмпирический характер. Структуру использования сельскохозяйственных и, прежде всего, пахотных земель также как правило, разрабатывают вне системно-агроэкологического анализа всей природно-хозяйственной обстановки, вне изменения агроландшафтной структуры земель. При этом системный подход не используется и подменяется его дисциплинарным (предметным) рассмотрением (А.Н.Каштанов и др., 1994).

Современный уровень ландшафтоведения, экологии и научных разработок в области сельского и лесного хозяйства пока не позволяет корректно и однозначно решить в целом поставленную задачу. Сегодня можно говорить лишь о подходах к ее рассмотрению. Междисциплинарный анализ проблемы даст возможность подойти к разработке конкретных методов, позволяющих на практике реализовать намеченную цель на должном уровне.

Имеется большое число различных предложений по определению структуры агроландшафта. Здесь и попытки использовать «структурные

числа» С.А.Доксиадиса, и найти подход, основанный на оценке антропогенной нагрузки, или количественно выраженного разнообразия видов природопользования. Предложено использовать для этих целей отношение длины экотонов в метрах к площади в гектарах и др.

При изучении рассматриваемого вопроса были отмечены следующие общие положения (А.Н.Каштанов и др., 1994):

1. Для каждого агроландшафтного региона соотношение природно-хозяйственных угодий должно быть индивидуальным.
2. Выбор территориальной единицы для проведения анализов должен определяться поставленной целью, ограничениями физико-географической размерности и обеспеченностью фактическим материалом.
3. При выборе цели следует использовать уже установленные зависимости между структурой природного биоценоза и средовосстановительным эффектом, лесистостью и коэффициентом стока, экономической эффективностью и урожайностью, с одной стороны, и площадью агроландшафтных массивов – с другой.

Детальный анализ оптимального сочетания составляющих агроландшафта возможен при решении следующих вопросов (А.Н.Каштанов и др., 1994):

1. Оценка ресурсовосстановительных, средовосстановительных функций агроландшафтных систем и охраны генофонда.
2. Экономические показатели, включая урожайность, себестоимость, доходность (все на условную единицу антропогенной нагрузки). Антропогенная нагрузка зависит от степени механизации, химизации, мелиорации и других факторов техногенной интенсификации. Сюда же относится оценка производственной инфраструктуры.
3. Экологические показатели: степень загрязненности (чистоты) в долях ПДК для почвы, поверхностных и подземных вод, растительности, воздуха, а также относительная биопродуктивность несельскохозяйственных территорий.
4. Качество жизни населения, включая изменение (при прочих равных условиях) продолжительности жизни, субъективную оценку условий жизни, обусловленных состоянием окружающей среды, социальной инфраструктурой.

По каждой группе задач можно получить объективные количественные показатели. Однако создание единой математической модели оптимизации структуры агроландшафта, учитывающей все перечисленные показатели требует большой подготовки, средств и определенного доверия.

Возможно несколько вариантов решения поставленной задачи с позиций агроландшафтной концепции (А.Н.Каштанов и др., 1994):

Первый – это обоснование объекта исследования. Характеристики соотношения пашни и леса для большинства республик и областей, так же как и анализ этих показателей по ландшафтными зонам, носят обзорный характер и никогда не приведут к решению поставленной задачи.

Основным объектом исследования, очевидно, должен стать агроландшафтный район (агроландшафт), вспомогательными – агроландшафтная местность, с одной стороны, и агроландшафтный округ – с другой. Это наиболее предпочтительные объекты исследования. Однако следует иметь в виду, что пока еще отсутствует агроландшафтное районирование, и статистическая информация, необходимая для анализов, дается по административно-территориальным единицам. Область, национальный округ, как правило, не могут быть объектом исследования из-за большой их природно-хозяйственной разнородности. В меньшей степени это относится к административным районам. Однако, ограничиваться объектом только одной размерности (районом) нежелательно, так как это может привести к систематической ошибке в выводах.

Более экологически оправданным является бассейновый подход к реализации поставленной задачи. Однако последний требует пересчета значительных объемов статистической информации на площадь бассейна.

Второй – выбор представительных показателей. Их можно разделить на три группы.

Первая группа должна быть представлена наиболее полно, принимая во внимание все три направления: ресурсовосстановление (1А), средовосстановление (1Б) и охрану генофонда (1В). Каждую из этих составляющих для упрощения решения задачи следует отразить ограниченным набором наиболее важных показателей.

Нормативы подгруппы 1А могут быть ограничены существующими методиками почвозащитной организации сельскохозяйственных угодий (включая противоовражную мелиорацию), а также методами создания водоохраных зон вдоль гидрографической сети. Другие аспекты ресурсовосстановительной деятельности можно учесть при рассмотрении средовосстановительных показателей (1Б).

Нормативы подгруппы 1Б следует ограничить показателями водного режима территории, рассматривая сток как интегральную характеристику геофизического состояния среды. Водный режим чутко реагирует на лесистость, распаханность, взаиморасположение поля и леса и, что самое главное, поддается формализованной оценке. Имеющиеся проекты по влиянию антропогенной деятельности на гидрологический режим, безусловно, требуют целенаправленной агроландшафтной проработки, однако методики, которыми мы уже располагаем, можно использовать.

Подгруппа показателей 1В, характеризующих возможности охраны биогеоценоза и генофонда, должна быть отражена минимально необходимой площадью индивидуальных экотопов, их структурой и размещением относительно других составляющих агроландшафта. Эта подгруппа имеет три самостоятельные, но взаимосвязанные задачи: процент естественных угодий, типичных для физико-географической провинции; величина минимально необходимой площади отдельного экотопа; взаиморасположение экотопов. При оптимальном размещении

участков разного природно-хозяйственного назначения можно при общей меньшей площади природоохранных элементов добиться большего эффекта.

Указанную задачу можно решить биологическими методами с помощью анализа биоэкологической и социально-экологической обстановки в конкретной природно-хозяйственной ситуации.

Вторая группа показателей (экономические), очевидно, может быть представлена двумя основными и двумя вспомогательными показателями.

Первый – анализ урожайности (на единицу площади и валовой сбор). Вторым – анализ агроландшафтных контуров (массивов), на основе расчета эколого-технологических показателей для участков разных размеров и выбор на этой основе оптимальной их величины.

В стабильной экономической ситуации показатель урожайности дополнен вспомогательным показателем экономической эффективности аграрного сектора. Очевидно, при анализе следует учесть также соотношение потенциальной расчетной урожайности, которую получают на опытных участках, а также реальной хозяйственной и биологической (без потерь) урожайности.

Третья группа показателей (экологические), как уже отмечалось, рассматриваются на основе ПДК и может быть дополнена тестированием.

Все рассматриваемые показатели можно выразить в долях от максимума. Для каждого показателя по группе подробно изученных агроландшафтных районов строят кривую зависимости от распаханности и затем подбирают аналитическую оптимизационную функцию. Задачу предлагается решать на основе ГИС с использованием базы данных агроэкологического мониторинга.

К примеру, организация территории пастбища рассчитывается следующим образом (П.Казьмір,2003). Площадь участка пастбища определяют по формуле:

$$П = K_{бр} \frac{КНД}{У}$$

где  $K_{бр}$  – коэффициент, учитывающий выделение площади под скотопрогоны, летние лагеря, водопойные площадки (принимается (1,2-1,3);  $K$  – количество поголовья скота, содержащегося в хозяйстве;  $Н$  – норма зеленых кормов, ц/сутки;  $Д$  – продолжительность пастбищного периода, дни;  $У$  - урожайность пастбищ, ц/га.

Если известна площадь пастбища, а неизвестно поголовье то из приведенной выше формулы вычисляют допустимое количество поголовья скота.

В проекте организации территории пастбищ рассматриваются также и такие вопросы как проектирование загонов очередного выпаса, размещение летних лагерей и водопойных площадок, размещение скотоперегонов.

При проектировании элементов организации территории пастбищ придерживаются таких требований:

- 1) пастбищные участки для коров размещаются вблизи ферм на расстоянии 1,5-2,0 км, для молодняка старше одного года – 2,0-2,5 км, для телят – 0,5-1,0 км. Они должны быть компактными, чтобы их можно было огородить по периметру.
- 2) Загоны очередного выпаса проектируются прямоугольной формы, их количество рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{Pв + B}{B} + O$$

где  $Pв$  – период восстановления травостоя – 25-30 дней;  $B$  – количество дней выпасания в одном загоне – 2-4 дня;  $O$  – количество загонов, используемых в системе пастбищесмены под сенокосы и поверхностное улучшение и не выпасаются целый год – отдыхают.

#### 4.3.2. Севообороты

Большое разнообразие севооборотов по производственному назначению, составу культур и другим признакам требует объединения их в однородные группы (Кормопроизводство..., 1985). Севообороты делят на три типа: полевые, кормовые и специальные. Типы севооборотов, в свою очередь, делят на три типа: полевые, кормовые и специальные (табл.4.14, ГОСТ 16265-80). Типы севооборотов в свою очередь, делятся на виды. В основу этого деления положено соотношение выращиваемых культур по технологии возделывания и влиянию на плодородие почвы, а также по наличию в них паров. Выделяют следующие виды севооборотов: зернопаровые, зернопаропропашные, зернопропашные, зернотравяные, плодосменные, травопропашные, пропашные, травопольные, сидеральные.

Севообороты тесно связаны с системой земледелия. В настоящее время системы земледелия подразделяются по виду природных условий и по способу хозяйствования (рис.4.2, табл.4.15). По виду природных условий земледелие подразделяется (А.А.Бабич,1996) на устойчивое - в умеренном поясе с достаточным количеством осадков; неустойчивое - у условиях недостаточного увлажнения; орошаемое (ирригационное) - в засушливых областях; круглогодичное - во влажных субтропиках и тропиках (с 2-3 урожаями в год).

По способу хозяйствования системы земледелия подразделяются (Ф.Т.Моргун, А.Г. Тарарико и др., 1988) на экстенсивные (примитивные) - залежная, переложная, подсечно-огневая и лесопольная, здесь в обработке и под посевами находится незначительная часть пахотно пригодных земель и, как правило, исключительно под зерновыми культурами. Оставляли пашню в залежь или перелог обычно после 3-4-летнего использования. Такие системы земледелия до сих пор ещё применяются в странах Африки и Южной Америки, что приводит к уничтожению лесов и активизации процессов эрозии.

Более интенсивные системы земледелия это паро-переложная и паровая, здесь наблюдается расширение посевов и усовершенствование

техники обработки, что увеличивает производство зерна, но не решает проблему разрушения почвы. Многопольно-травяная, плодосменная, травопольная улучшили защиту почв от разрушения и истощения, но их недостатком явилась низкая продуктивность использования земельного фонда, слабое развитие зернового хозяйства и кормопроизводства. В результате для различных природно-климатических зон были разработаны научно обоснованные интенсивные системы земледелия типа паро-зерно-пропашной с севооборотами, которые имеют черный пар, зерновые, пропашные, небольшие площади многолетних трав. Недостатком этих систем явилось распыление и переуплотнение почвенного покрова, снижение содержания гумуса, ухудшение водного режима, развитие водной эрозии и дефляции. В связи с интенсивным внесением удобрений и применением химических средств защиты растений ухудшилось качество выращиваемой продукции, в результате стали появляться системы альтернативного земледелия - основанные на экологизации и биологизации, т.е. земледелие должно быть безвредным для окружающей среды и человека, а также на основе максимальной реутилизации и рециркуляции всех образующихся в хозяйстве отходов и побочной продукции (Ф.Б.Прижуков,1989). Для условий сложного рельефа с высокой опасностью проявления водной эрозии, распространение получила контурно-мелиоративная система земледелия. Ее основной отличительной особенностью является дифференцированное использование земельных ресурсов, высокая продуктивность за счет более полного использования экологических факторов, а также биологических и технологических особенностей возделывания культур.

Основными принципами почвозащитной контурно-мелиоративной системы земледелия являются (Ф.Т.Моргун, А.Г.Тарарико и др.,1988):

1. Все обрабатываемые земли в зависимости от уклона и эродированности почвенного покрова разделяются на три технологические группы по типу их использования:

1) равнинная часть землепользования и склоны до 3°. Сюда относятся все земли, технологически пригодные для возделывания пропашных культур поперек склона. Здесь размещаются интенсивные зерно-паро-пропашные севообороты.

2) Земли с уклонами 3-7°. На них размещают интенсивные севообороты зерно-травяного типа, которые в этих условиях обеспечивают не только высокую продуктивность, но и эффективную защиту почв от эрозии.

3) Сильноэродированные склоны крутизной более 7° со сложным рельефом, где затруднено выполнение основных технологических операций возделывания даже зерновых культур рекомендуется использовать для длительного залужения высокопродуктивными бобово-злаковыми травосмесями и с полевым периодом через 5-6 лет.

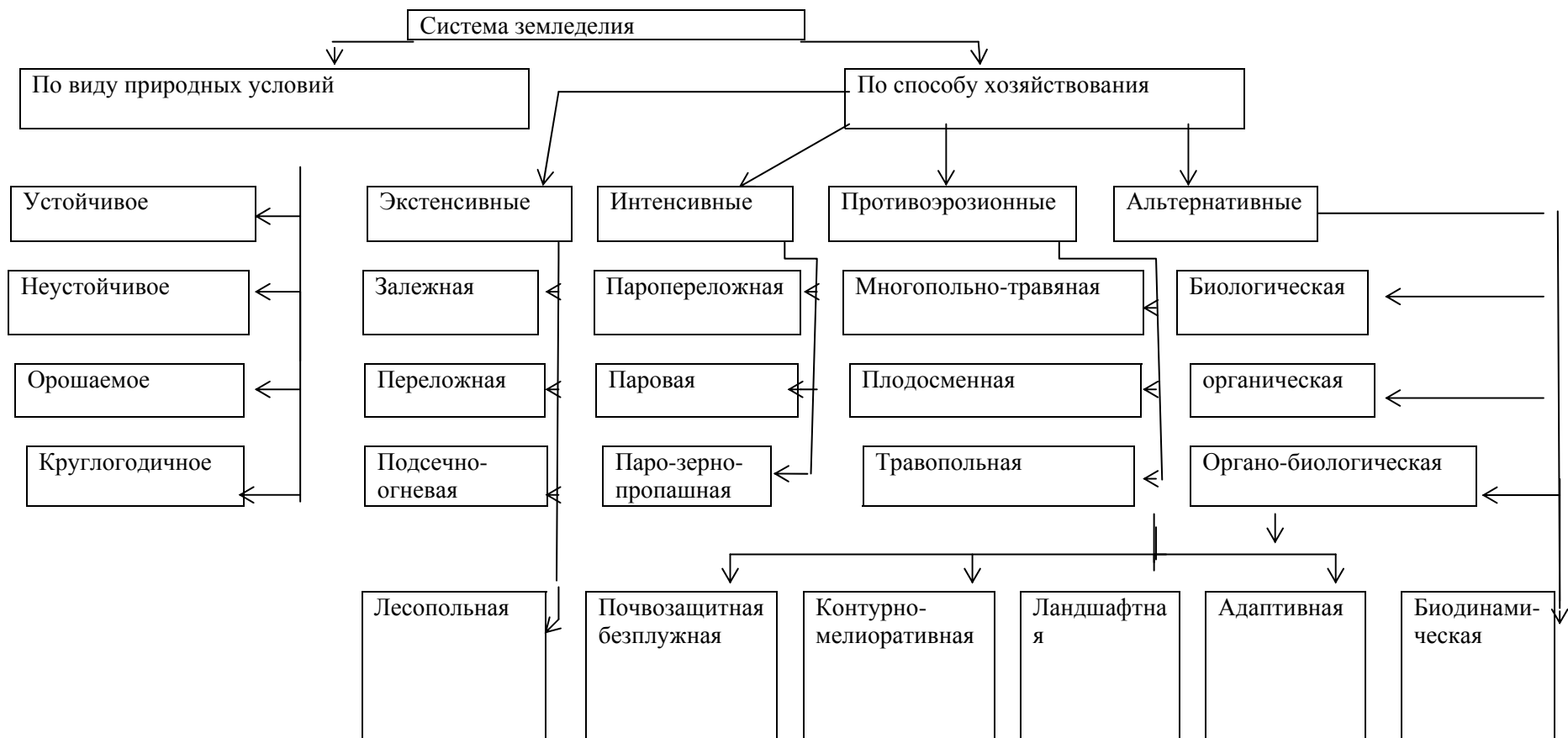
4) Крутосклоны более 20° после террасирования используют под посадки плодовых и лекарственных древесных насаждений.



2. Каждый из элементов организации территории должен проектироваться исходя из контурности, т.е. быть максимально приближенным к горизонталям местности. Мероприятия постоянного действия (валы различных типов, лесные полосы) жестко закрепляют в пространстве границы земель с различной интенсивностью использования.

**Таблица 4.14.** Классификация севооборотов (по ГОСТ 16265-80)

Типы севооборотов	Виды севооборотов	
	в нечерноземной зоне	в степных районах
Полевые	зернотравяные (на слабоокультуренных почвах)	зернопаровые (в сильно засушливых районах)
	плодосменные (на средне- и хорошо окультуренных почвах)	зернопаропропашные (в засушливых районах со значительными площадями пропашных культур)
	пропашные (на хорошо окультуренных почвах в хозяйствах овоще-картофельного направления)	зернотравяные (в районах сильной ветровой эрозии на легких почвах); зернопропашные (в слабо засушливых районах и на орошаемых землях)
	сидеральные (на супесчаных и песчаных почвах)	плодосменные (на орошаемых землях) пропашные (на орошаем. землях)
Кормовые		
а) прифермские	травянопропашные (на менее окультуренных почвах)	зернопропашные (на более плодородных почвах вблизи ферм)
	плодосменные (на среднеокультуренных почвах) пропашные (на более окультуренных почвах)	Травопропашные (на средних по плодородию почвах достаточного увлажнения при орошении) Плодосменные (на плодородных почвах достаточного увлажнения или при орошении)
б) сенокосно-пастбищные	травопольные (на луговых землях), травопропашные (на осушенных торфяниках и пойменных землях)	Травопольные, травопропашные
Специальные:		
а) овощные и овощекормовые	травопропашные (на пойменных землях) пропашные (на хорошо окультуренных почвах)	пропашные (на плодородных почвах или на поймах), травопропашные
	б) почвозащитные	травопольные (на склоновых землях, подверженных водной эрозии)
в) хлопковые и рисовые	-	зернопропашные, зернотравяные (на землях специального орошения)
Повторные посеы отдельных культур		
Внесевооборотные участки		



**Рис. 4.2. Классификация систем земледелия**

**Таблица 4.15.** Классификация систем земледелия (по С.А.Воробьеву, 1979)

Системы земледелия	Признаки систем земледелия	
	способ использования земли	способ повышения плодородия почвы
I. Прimitивные: залежная и переложная в степной зоне подсечно-огневая и лесопольная в лесолуговой зоне	в обработке находится меньшая часть пригодных для пашни земель. В посевах преобладают зерновые культуры	природные процессы без участия человека
II. Экстенсивные: паровая, многопольно-травяная	под посевами занято не менее половины пашни. Преобладают зерновые культуры или многолетние травы. Значительные площади отводятся под чистые пары	природные процессы не направляются человеком
III. Переходные: улучшенная зерновая, травопольная	пригодные к вспашке земли пребывают в обработке. В посевах преобладают зерновые культуры, чередующиеся с многолетними травами или пропашными культурами и чистым паром.	рост влияния человека с одновременным использованием природных факторов
IV. Интенсивная: плодосменная, промышленно-заводская (пропашная), зерно-пропашная и др.	Практически все пригодные к вспашке земли заняты посевами. Посевная площадь часто превышает площадь пашни. Обязательно выращивают пропашные культуры	активное влияние человека при помощи промышленных способов

3. Применение почвозащитных агротехнических приемов согласно дифференциации земель.

Главное условие рационального использования пашни и повышения культуры земледелия – оптимизация структуры посевных площадей и освоение правильных севооборотов (Основы экономики..., 1988). Рациональная структура посевных площадей должна обеспечивать наиболее полное использование почвенно-климатического потенциала, получение максимального количества продукции при минимуме затрат труда и средств, возможность организации научно обоснованной системы севооборотов, расширенное воспроизводство плодородия почв, защиту их от эрозии и дефляции с учетом почвенных и климатических ресурсов, рельефа и специализации хозяйства, выполнения государственных задач по реализации сельскохозяйственной продукции.

Разработку структуры посевных площадей и системы севооборотов следует начинать с определения специализации хозяйства, которой предшествует составление плана использования всех сельскохозяйственных угодий. При этом в условиях сложного рельефа обязателен учет соотношения категорий пахотных земель разной интенсивности использования. Под ограниченное использование отводят сильноэродированные участки пахотных земель. На пашне интенсивного использования можно вводить севообороты, насыщенные интенсивными

культурами с низкой почвозащитной способностью (пропашные, однолетние культуры). На пашне умеренного использования удельный вес таких культур резко сокращается, и увеличиваются площади многолетних трав, озимых. На пашне ограниченного использования вводят почвозащитные севообороты, а наиболее эрозионно опасные участки рекомендуется отводить под залужение.

При делении пахотных земель на категории по подверженности эрозии и интенсивности использования следует учитывать: климат, рельеф (крутизна и экспозиция склона), тип почвы, ее механический состав, наиболее опасные периоды и особенности проявления эрозии, характер растительного покрова, почв, эффективность агротехнических и других противоэрозионных мероприятий в конкретных почвенно-климатических условиях, возможности возделывания в севооборотах промежуточных культур, соответствие сложившейся в хозяйстве специализации, структуры посевных площадей, организации территории задачам наиболее полного использования биоклиматического потенциала, противоэрозионной устойчивости земель и удовлетворения потребностей в отдельных видах продукции.

Для правильного определения набора и соотношения культур и разработки системы севооборотов проводят комплексную оценку сельскохозяйственных культур, включающую наряду с экономическими и показатели, характеризующие влияние сельскохозяйственных культур на плодородие почвы, их почвозащитную и почвоулучшающую роль.

Для полной и всесторонней оценки культур используют следующие показатели (Основы экономики..., 1988):

- 1) урожайность основной и побочной продукции, ц/га;
- 2) количество корневых и пожнивных остатков, ц/га;
- 3) использование биологического азота, ц/га;
- 4) выход продукции с гектара в денежных и энергетических единицах;
- 5) затраты труда на гектар и единицу продукции; чел.-ч;
- 6) материально-денежные затраты и затраты энергии на гектар и центнер продукции;
- 7) чистый доход с гектара и на единицу денежных затрат;
- 8) уровень рентабельности, %.

Исходным показателем при оценке сельскохозяйственных культур, системы севооборотов и структуры использования пашни является урожайность.

Перед началом уборки определяют биологическую урожайность, позволяющую установить величину потерь выращенного урожая, сделать правильные выводы о потребности в уборочной технике и ее эффективности, разработать обоснованные организационно-хозяйственные мероприятия по борьбе с потерями.

На основе бункерной урожайности определяют примеси, дают оценку уборочной технике и способам уборки урожая.

Размеры посевных площадей отдельных культур (или групп культур, сходных по биологическим особенностям) ограничиваются допустимыми пределами насыщения ими севооборотов, наличием пахотных земель, пригодных для их возделывания, обеспеченностью средствами механизации и трудовыми ресурсами.

Эффективность производства отдельных видов кормов определяют с учетом выхода с 1 га кормопротеиновых единиц, вычисленных по формуле

$$E = (K - 10П) / 2,$$

где E – количество кормопротеиновых единиц; K – выход кормовых единиц, ц/га; П – выход протеина, ц/га.

Наиболее выгодные культуры отбирают внутри групп (зернофураж, сочные, грубые корма). Предпочтение отдают культурам, имеющим лучшие кормовые достоинства, дающим наиболее дешевые корма. Выбор формы заготовок корма (сено, сенаж, травяная мука) зависит от многих обстоятельств (экономических, климатических и организационных). Для оценки экономической эффективности чистых паров в хозяйстве сопоставляют издержки и выход основной и побочной продукции в различных звеньях севооборотов.

Однако полностью оценивать эффективность паров можно только после одной-двух ротаций севооборота, учитывая не только их действие, но и последствие – плодородие почв, очищение пашни от сорняков, накопление влаги, выход валовой продукции с пашни за длительный период.

Научно обоснованные севообороты должны обеспечивать рациональное использование пахотных земель, материальных и трудовых ресурсов с целью выполнения плановых объемов производства продукции растениеводства с учетом охраны окружающей среды и в связи с этим должны отвечать следующим требованиям (Основы экономики..., 1988):

- 1) полнее использовать почвенно-климатические ресурсы за счет улучшения состава основных культур и расширения промежуточных посевов, а также предусматривать усиление их роли в будущем как биологического фактора восстановления и воспроизводства плодородия почвы и роста продуктивности возделываемых растений, предотвращения потерь почвы от эрозии и дефляции;
- 2) соответствовать специализации хозяйства, рациональной структуре управления и новым формам организации производства, обеспеченности хозяйства на ближайшую и отдаленную перспективу трудовыми и материальными ресурсами, способствовать эффективному использованию техники, внедрению прогрессивных форм организации труда;
- 3) создавать условия для дифференцированного подхода к использованию каждого участка пахотных угодий с учетом рельефа, свойств почв, их эродированности и подверженности эрозии, размещения населенных пунктов, животноводческих и других производственных помещений;
- 4) максимально учитывать биологические особенности культур в технологии их возделывания (размещать по рекомендованным

предшественникам, соблюдать сроки возврата культур на прежнее место в севообороте), предусматривать отдаленные последствия чрезмерного насыщения севооборота однотипными культурами;

5) способствовать высокоэффективному применению интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур, росту их урожайности и снижению производственных затрат;

б) отличаться относительной гибкостью, позволяющей вносить коррективы без нарушения принципиальных основ чередования;

7) обеспечивать высокую экономическую эффективность возделываемых культур.

С увеличением нагрузки на почву роль научно обоснованных систем севооборотов возрастает. В частности, усиливается значение правильного состава и чередования культур как биологического фактора в земледелии в связи с увеличением поступления в почву растительных остатков, минеральных удобрений и пестицидов и необходимостью их быстрого разложения, а также для устранения переуплотнения, распыления, засоления, закисания, токсикоза почвы, снижения засоренности посевов, снижения поражения их болезнями и повреждения их вредителями.

В связи с ростом урожаев и соответственным повышением расхода воды на их формирование усиливается вероятность возникновения опасного дефицита влаги в почве, и роль севооборота как единственного средства перераспределения влаги выпадающих осадков между сельскохозяйственными культурами в районах недостаточного и неустойчивого увлажнения возрастает. Велика роль севооборота как мелиорирующего фактора.

При оценке суммарной эффективности введенных в хозяйстве севооборотов следует учитывать следующие показатели (А.Н.Каштанов и др., 1994):

1. Выход на 1 га севооборотной площади:

а) основной продукции (зерна, технических культур, кормов и т.д.);

б) кормовых единиц, протеина, кормопротеиновых и зерновых единиц.

2. Стоимость валовой продукции, затраты труда (чел-ч) и средств на единицу основной продукции и на 1 га посева сельскохозяйственных культур, чистый доход, уровень рентабельности (%).

3. Устойчивость производства зерна и других видов основной продукции (по коэффициенту вариации).

4. Почвоулучшающая роль севооборотов. В качестве характеристики этого показателя целесообразно использовать динамику изменения содержания гумуса, повышение количества водопрочных агрегатов, водоудерживающей способности почвы, снижение её кислотности (щелочности), а также количество оставляемых корневых и пожнивных остатков, закрепление биологического азота.

5. Почвозащитная эффективность севооборота. Оценивается по повышению противоэрозионной стойкости почвы и снижению интенсивности эрозионных процессов.

Ландшафтный подход к разработке оптимальной структуры посевных площадей предполагает более полное использование биоклиматических ресурсов агроландшафта культурными растениями с одной стороны, и реализацию средовосстанавливающих особенностей культивируемых видов растений с другой. Разграничение площади по элементам склона, плодородию почв, её смывости и направлению пахоты закрепляется системой (каркасом) защитных лесонасаждений и контурно-полосным размещением посевов по горизонталям поля. В результате исследований установлено (Т.Ю.Анисимова, 2005), что элементы рельефа влияют на продуктивность культур севооборота сильнее, чем антропогенные мероприятия в системе земледелия – агротехнические, мелиоративные и агрохимические. Различия по урожайности зерновых культур по элементам рельефа в неблагоприятные по увлажнению годы достигали шестикратной величины. В лучших частях склона продуктивность почв снижалась в 1,6-1,8 раза по сравнению с водоразделом и пологой верхней частью.

В севообороте для ягодников учитывают то, что, как правило, продуктивный период их эксплуатации не превышает 10 лет. Непосредственно посадке ягодников предшествует унавоженный пар (табл.4.16). Такой севооборот обеспечивает рациональное использование питательных веществ, эффективную борьбу с сорняками, вредителями и болезнями растений, способствует максимальному накоплению в почве влаги и более продуктивному ее использованию (В.Я.Салова, Е.Н.Салов, 1979).

**Таблица 4.16.** Схема чередования культур в севообороте с ягодниками (по В.Я.Саловой и Е.Н.Салову, 1979)

№	Культура	№	Культура
1	Вико-овсяная смесь на сено	11	Ягодники 1 – го года
2	Озимая пшеница*	12	Ягодники 2 – го года
3	Кукуруза на силос	13	Ягодники 3 – го года
4	Горох	14	Ягодники 4 – го года
5	Гречиха	15	Ягодники 5 – го года
6	Овес с подсевом клевера	16	Ягодники 6 – го года
7	Клевер. Один укос на сено	17	Ягодники 7 – го года
8	Озимая пшеница	18	Ягодники 8 – го года
9	Кукуруза на силос	19	Ягодники 9 – го года
10	Черный пар*	20	Ягодники 10 – го года

В табл.4.17 показаны фактические и оптимальные структуры посевных площадей полевых культур в разных природных зонах Украины.

### 4.3.3. Моделирование севооборотов

Любой севооборот является элементом взаимосвязанных севооборотов. Для достижения оптимального состояния всех параметров

**Таблица 4.17.** Фактические (х-среднемуголетние части,%) и оптимальные (у, %) структуры посевных площадей полевых культур в зонах Украины за средними муголетними данными (Б.В.Скорупский, 2001)

Названия культур	Зоны											
	Полесье		З.Лесостепь		Ц.Лесостепь		С.Лесостепь		Сев.Степь		Юж.Степь	
	х	у	х	у	х	у	х	у	х	у	х	у
Пшеница	18,3	25	25	28	23	28	24	33	31,6	38	41,5	56
Рожь	19	12	9	3	7,4	2	8	2	2	2	1,7	2
Ячмень	10,7	13	11,3	10	11,3	5	12	5	14,7	6	12,7	4
Овес	6,4	7	4	1	3	2	4	2	3	2	3	2
Кукуруза	3	3	6	12	8	14	10,5	13	15,3	15	13	15
Просо	2	2	1	1	2,4	1	3	2	3	1	2,5	1
Гречка	4	2	2	1	2,6	2	3	2	0,5	0	0	0
Горох	3	2	5	8	7,4	15	3	7	2	1	3	0
Сахарная свекла	7,6	8	11	14	13,4	16	11	13	2,6	4	3	3
Картофель	15,6	23	13,3	16	10	12	7	11	4	4	2,5	2
Подсолнечник	0,4	0	0,4	1	2	1	8	6	12,7	19	13	13
Травы	10	4	10,3	5	9	3	7,3	1	7,4	3	8	4

системы при проектировании севооборотов необходимо решить много вопросов. При моделировании системы севооборотов выделяют такие этапы (I.М.Вергунова, 2000, I.Д. Приймак та ін., 2003):

- 1) создание соответствующей информационной базы данных;
- 2) решение задач, являющихся составными частями общей;
- 3) решение общей задачи относительно проектирования системы севооборотов.

В результате решения задачи проектирования севооборотов получаем структуру посевов, отвечающую оптимальным севооборотам. Причем, моделирование отдельных звеньев задачи и всего процесса в целом необходимо осуществлять с позиций системного подхода. Основным учитываемым принципом при построении модели является степень влияния севооборота на урожайность культур, входящих в нее.

Для таких моделей исходными данными является информация об урожайности сельскохозяйственных культур с учетом специфики севооборотов (то есть предшественников, уровня плодородия почв, погодных условий и т.п.). Эти сведения на основе экспериментальных данных берут за ряд лет с целью накопления информации (для создания исходной базы данных) и получения показателей, характеризующих степень влияния на урожайность каждой культуры севооборота определенной последовательности предшественников по всем возможным для заданного множества культур схемам (что является основой для получения цепи севооборота).

С помощью моделей севооборотов можно осуществить учет влияния севооборота на плодородие почвы (на баланс питательных веществ и влажности в севооборотах), биологической роли севооборотов в повышении урожайности. Построение структуры посевных площадей позволяет определить последовательность размещения культур в



севооборотах, оценку урожайности культур и продуктивности севооборотов, определить структуру посевных площадей и сформировать севообороты с учетом специализации хозяйств, а при необходимости также предложить и сформировать почвозащитные севообороты. Задача проектирования севооборотов сводится к тому, чтобы структуре посевов отвечали оптимальные севообороты.

При разработке севооборотов можно применять разделение задачи на две более простые подзадачи оптимизации схем севооборотов. В первой определяются оптимальные схемы севооборотов для другой (внешней), где определяют оптимальные размеры отраслей растениеводства в пределах севооборотных массивов. Решение внешней задачи позволяет определить место каждого севооборота в системе взаимосвязанных севооборотов, а внутренней – оптимальные схемы севооборотов с учетом только агротехнических и агробиологических условий чередования культур для каждого массива.

Если севооборот рассматривают в пространстве, её считают условно статичной системой. То есть принимают множество культур севооборота и её структуру по годам ротации одинаковыми, ежегодные урожаи соответствующих культур (учитывая одинаковые предшественники) одинаковыми, если не учитывать метеорологические факторы при постоянном уровне обеспечения удобрениями. Тогда динамика севооборота на каждом отдельном поле просматривается за полную ротацию. Это позволяет свести задачу определения оптимального чередования культур к задаче размещения культур на полях массива.

При оптимальном планировании севооборотов решаются такие локальные задачи проектирования севооборотов (И.М.Вергунова, 2000):

- 1) разработка схем севооборотов;
- 2) определение количества, размеров и размещения разных видов севооборотов;
- 3) переход к проектным севооборотам.

Несмотря на то, что севооборот является динамичным объектом, пребывающим в постоянном развитии, его модели, в зависимости от поставленной задачи, делят на динамические и статистические. Полученные в результате задачи являются задачами линейного программирования.

Динамическая модель оптимизации севооборотов позволяет для заданного множества культур и фиксированного севооборотного массива определить оптимальный вариант схемы севооборота. Задача оптимизации севооборота, что, как правило, оптимизируется при помощи линейного программирования, определяет такую последовательность культур, которая бы обеспечила получение максимальной прибыли в расчете на 1 га севооборотной площади. В динамической модели на каждом шаге (соответствует 1 году ротации севооборота) осуществляется выбор культуры, что дает максимум прибыли с учетом влияния предшественника и частоты выращивания отдельных культур в севообороте.

В статических моделях оптимизации схем севооборотов осуществляется их планирование для каждого массива отдельно при условии, когда известны количество и размеры всех полей. Кроме того, набор культур в севообороте и структура севооборота по годам ротации те же самые, ежегодные урожаи соответствующих культур, что имеют одинаковые предшественники, совпадают, если не учитывать влияние метеофакторов и считать постоянным уровень обеспеченности удобрениями. Тогда динамика севооборота может прослеживаться на каждом отдельном поле за полную ротацию, что позволяет свести задачу определения чередования культур к задаче их размещения по полям массива. Общий подход к построению статических моделей предусматривает сведение задачи оптимизации схемы севооборота к оптимизации распределения по полям массива. В зависимости от поставленных целей, здесь могут рассматриваться такие модели (І.М.Вергунова, 2000):

1) размещения культур на полях массива в зависимости от их чередования во времени. Эти модели обуславливают такое чередование культур (при условии заданной культуры первого года ротации), что отвечает агротехническим требованиям и обеспечивает гарантированный объем растительной продукции при условии получения максимума целевой функции;

2) для заданного года ротации размещения культур на полях севооборота в зависимости от их размещения в предшествующем году.

Первые модели не решают полностью проблему оптимизации схем севооборотов, но в условиях недостаточности информации их можно использовать как один из подходов решения задачи. Недостатком этого подхода является большая размерность матрицы задачи.

В других моделях заданный набор культур в определенной последовательности должен пройти все поля массива, что включает качественно однородные земли. Влияние предшественников отражается в показателях критерия качества, а их площади фиксируются. Решение задачи для первого года ротации сводится к корректированию плановой структуры севооборота (из решения внешней задачи с учетом размещения культур по полям массива). Решение задачи фиксируется. Далее для другого года ротации выбор культур осуществляется на основе полученного ранее решения путем их перебора и т.д. В этих моделях начальное размещение по полям массива не имеет существенного значения. В отличие от предшествующих моделей эти позволяют учитывать влияние не только предшественников, но и предпредшественников благодаря корректировке урожайности культур и показателей критерия оптимальности.

Статические модели можно рассматривать как модели с условно неизменной динамикой.

Возможно также возникновение таких задач территориальной организации севооборотов (І.М.Вергунова, 2000, Сівозміни..., 2002):

1. Определение количества и размеров севооборотов в хозяйстве. Это оптимизация пространственных условий севооборотов (т.е. определение площади отдельных культур и (или) их участков и количества полевых севооборотов при условии минимальных расходов и выполнения соответствующих условий).

2. Определение размещения севооборотных массивов (распределение севооборотов на пахотных массивах земель при условии известных количества и размера севооборотов).

3. Совместное определение количества, размеров и размещения севооборотов.

4. Трансформация земельных угодий (связана с определением количества и размеров севооборотов в хозяйстве).

5. Определение оптимального размещения контуров пахотных земель на севооборотных полях (с  $n$  участков пашни севооборотного массива при их оптимальном распределении организовать территорию с  $m$  полей севооборота).

На каждом поле севооборота и в системе севооборота в целом имеют место изменения. Первые возникают при влиянии последовательности предшественников на каждую культуру севооборота, отражаются на урожайности культур в каждом году ротации севооборота и описываются при помощи рекурсивных, линейно-динамических и динамических моделей. Изменения, связанные с влиянием севооборотов на плодородие почвы в целом, проявляются через длительный промежуток времени и отражаются при переходе от одного периода планирования к другому путем прогнозирования нормативной урожайности.

С чередованием культур связаны пространственные условия севооборотов, что характеризуются количеством и размерами разных видов севооборотов, их размещением на территории хозяйства. Одновременно достигнуть оптимального состояния пространственных и временных параметров севооборотов очень трудно (для оптимизации пространственных параметров используют модели линейного и нелинейного программирования).

Существует несколько подходов к решению задач планирования оптимальных севооборотов, что по методу описания севооборотов можно разделить на 2 группы:

1) разработка моделей, для которых схемы севооборотов установлены и вводятся в явном виде;

2) разработка схем севооборотов в процессе решения путем перебора культур с некоторого установленного множества.

Чаще всего для моделирования севооборотов применяют модели линейного программирования. Постановка задачи формулируется так: Исходя из наличия производственных ресурсов (земельных, трудовых, денежных и т.п.), определить оптимальную структуру использования пашни и системы севооборотов, что позволит в конкретных природно-экономических условиях на основе выполнения требований к сохранению

существующего уровня плодородия почв обеспечить наиболее эффективное производство необходимого количества продукции. Как критерий оптимальности при такой постановке задачи чаще всего используют максимум чистого дохода.

Но такие задачи не учитывают влияния климатических факторов. Обычно, задача о размещении сельскохозяйственных культур это задача оптимизации, решение которой сводится к нахождению структуры посевных площадей, что позволяет достичь максимального валового урожая при условии заданной урожайности культур и общей посевной площади. Решение такой задачи соответствует среднему состоянию погоды и не учитывает ее возможных изменений. Как следствие, решение задачи не может верно дать ответ в случае года с неблагоприятными погодными условиями.

Для учета климатических особенностей территории при построении оптимальных планов размещения культур применяют математическое ожидание потерь урожая вследствие неблагоприятных условий погоды. Иногда применяют подход, аналогичный подходу в системной задаче концептуальной неопределенности (задачи системной оптимизации в трактовке, предложенной В.М.Глушковым). Привлекательность этого подхода в том, что он дает возможность получать прогнозы за пределами интервалов исследований.

При оптимизации структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур с учетом климатической информации часто применяют принцип минимизации средних потерь (В.А.Жуков, 1982). Такой принцип имеет недостаток – он не учитывает возможность больших потерь, приводящих к необратимым последствиям. Поэтому было бы целесообразнее в некоторых задачах применять принцип минимизации повторения больших потерь. Тогда задача получения оптимальной стратегии сводится к нахождению такого соотношения посевных площадей, при котором общая урожайность была бы не меньше некоторого определенного значения, что является уровнем урожайности ниже которого потери считаются большими.

В задачах размещения сельскохозяйственных культур с учетом информации о климате часто производится расчет агроклиматических показателей (агроклиматических ресурсов территории) и их сопоставления с потребностями растений (В.А.Жуков, 1982). В результате такая задача часто сводится к задаче о возможности выращивания в конкретном регионе некоторого определенного набора культур. В таком случае остается нерешенной задача о распределении посевных площадей между отдельными культурами.

С математической точки зрения чаще всего необходимо найти лучшее решение, что удовлетворяет некоторой системе ограничений (т.е. принадлежит к некоторому множеству возможных решений). Лучшим (оптимальным) решением является такое, при котором достигается максимум или минимум выбранной цели, что математически записывается

в виде целевой функции. Чаще всего применяют линейное программирование (см.Гл.1). Задачи такого типа дают возможность определить модели:

- 1) оптимизации структуры посевных площадей и севооборотов сельскохозяйственных культур (зерновых, технических и т.п., выращиваемых в хозяйстве, районе и т.д.);
- 2) оптимального производства и использования кормов;
- 3) оптимального распределения минеральных удобрений;
- 4) оптимизации состава и применения машинно-тракторного парка;
- 5) оптимального соотношения отраслей в сельскохозяйственном предприятии;
- 6) оптимизация кормовых рационов животных;
- 7) оптимизации структуры и оборота стада сельскохозяйственных животных и т.п.

Структура использования пашни и система севооборотов в хозяйстве должна отвечать таким условиям (I.M.Вергунова, 2000 и др.):

- 1) Обеспечению использования планов производства и продажи продукции растениеводства.
- 2) Максимальному учету биологических особенностей культур и технологий выращивания.
- 3) Дифференцированному подходу к использованию каждого участка пашни с учетом рельефа, свойств почвы, влияния на неё эрозии и других факторов.
- 4) Структура использования пашни должна соответствовать специализации хозяйства на близкую и отдаленную перспективу.
- 5) Учет ресурсного обеспечения хозяйства на близкую и отдаленную перспективу.
- 6) Система севооборотов должна соответствовать намеченной на перспективу структуре управления и организации производства.
- 7) Размещению культур, что выращиваются по рекомендуемым предшественникам.
- 8) Соблюдение сроков возвращения сельскохозяйственных культур на то же место в севообороте, учету отдаленных последствий чрезмерного насыщения севооборотов однотипными культурами.
- 9) Обеспечению условий массового освоения интенсивных технологий выращивания сельскохозяйственных культур и на этой основе роста их урожайности и снижения производственных расходов.
- 10) Система севооборотов должна обеспечивать как можно более полное использование биоклиматического потенциала за счет улучшения состава основных культур и на этой основе роста их урожайности и снижения производственных затрат.
- 11) Система севооборота должна предвидеть усиление веса севооборотов в будущем как биологического фактора восстановления плодородия почвы и роста продуктивности выращиваемых растений, а также предупреждения эрозионных процессов.

12) Системы севооборотов должны быть относительно гибкими, что позволяет вносить некоторые коррективы без нарушения принципиальных основ чередования.

13) Система севооборотов должна способствовать эффективному использованию техники, внедрению прогрессивных форм организации труда.

Некоторые нормативы чередования культур и предшественников представлены в табл.4.18-4.20, 3.32.

Условия задачи оптимизации севооборотов формулируются следующим образом. Исходя из наличия производственных ресурсов (земельных, трудовых, материально-денежных и т.п.) определить оптимальную структуру использования пашни и систему севооборотов, что позволит в конкретных природно-экономических условиях на основе требований к сохранению существующего уровня плодородия почв обеспечить наиболее эффективное производство необходимого количества продукции растениеводства.

В качестве критерия оптимальности при такой постановке задачи целесообразно использовать максимум чистого дохода, что стимулирует рост объемов производства продукции и экономию ресурсов (И.М.Вергунова, 2000, Сівозміни..., 2002):

$$Z_{\max} = \sum_{i \in I} \sum_{q \in Q} c_{qi} y_{qi} - \sum_{i \in I} \sum_{l \in L} p_{li}^l x_i^l - \sum_{i \in I} \sum_{q \in Q} p_{rqi} y_{qi},$$

где  $x_i^l$  - посевная площадь  $i$  культуры на  $l$  категории земель;  $y_{qi}$  - посевная площадь  $i$  культуры  $q$  вида использования;  $c_{qi}$  - стоимость валовой продукции  $q$  вида с 1 га посевной площади  $i$  культуры;  $p_{li}$  -

**Таблица 4.18.** Среднегодовая минерализация гумуса и его восстановление благодаря гумификации растительных остатков при выращивании различных культур, т/га

Культура	Минерализация гумуса	Растительные остатки	Пополнение гумуса благодаря растительным остаткам
Озимая пшеница	0,7	3,0-4,9	0,4-0,6
Озимая рожь	0,9	4,0-4,5	0,4-0,5
Ячмень, овес	0,6	2,9-4,5	0,3-0,5
Лен	0,9	1,8-2,2	0,2-0,3
Горох и др. зернобобовые	0,8	1,1-2,0	0,3-0,6
Кукуруза	1,1	2,3-3,0	0,3-0,4
Сахарная свекла	1,5	0,5-0,8	0,04-0,06
Подсолнечник	1,1	4,0-6,0	0,4-0,6
Картофель, овощи	1,3	1,2-2,1	0,06-0,15
Однолетние травы	0,7	2,5-3,5	0,5-0,7
Клевер	0,2	6,0-7,0	1,5-1,7
Эспарцет	0,2	3,7-4,0	0,9-1,2
Черный пар	1,6-2,0	-	-

**Таблица 4.19.** Нормативная классификация предшественников в севообороте

Культура	Предшественник															
	Многолетние травы (бобовые)	Однолетние травы	Горох-вика	Люпин на зерно		Кукуруза на		Озимая пшеница	Озимая рожь	ячмень	овес	картофель		Лен	Сахарная свекла	подсолнечник
				Зеленая масса	зерно	силос	Зерно					ранний	Поздний			
Озимая пшеница	X	X	X	X	УД	Д	Н	Н	Н	Н	УД	X	УД	X	Н	Н
Озимая рожь	X	X	X	X	УД	Д	Н	Н	Н	УД	Н	X	УД	X	Н	Н
Ячмень	X	X	X	X	X	X	X	Д	Д	Н	УД	X	X	X	X	УД
Овес	X	X	X	X	X	X	X	Д	Д	УД	Н	X	X	X	X	УД
Кукуруза	X	X	X	X	X	УД	УД	X	X	X	X	X	X	X	УД	УД
Горох, вика	Н	УД	Н	Н	Н	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Д
Люпин	Н	УД	Н	Н	Н	Д	X	X	X	X	X	X	X	X	X	Д
Лен	X	X	Д	Н	X	X	X	Д	УД	УД	X	X	X	Н	Д	Н
Сахарная свекла	УД	Д	X	УД	Д	УД	УД	X	X	X	Д	Д	Д	УД	Н	Н
Картофель	X	X	X	УД	X	Д	Д	X	X	Д	Д	Н	Н	X	X	Н
подсолнечник	Н	X	X	УД	X	X	УД	X	X	X	X	X	X	X	УД	Н

\* X – хороший, Д – допустимый, УД – условно-допустимый, Н – недопустимый

**Таблица 4.20.** Нормативы периодичности чередования культур в севообороте

Культура	Длина периода возвращения культуры на предыдущее место выращивания, годы		
	Степь	Лесостепь	Полесье
Озимая пшеница			
Озимая рожь	2-3	2-3	2-3
Озимый ячмень	1-2	1-2	1-2
Овес	1-2	1-2	1-2
Гречка	1-2	1-2	1-2
Просо	3-4	3-4	3-4
Горох, вика, чина, соя	3-4	3-4	3-4
Люпин на зерно	-	-	-
Рапс	3-4	3-4	3-4
Сахарная и кормовая свекла	3-4	3-4	3
Картофель	1-2	1-2	1-2
Подсолнечник	8-9	7-9	-
Эспарцет	2-3	2-3	-
Клевер	-	3-4	3-4
Люцерна	3-4	3-4	3-4
Многолетние злаковые травы	3-4	3-4	3-4
Суданка	3	3	3
Сорго	3-4	3-4	3-4
Черный пар	5-10	10	-
Кукуруза	0-5	0-5	0-5

затраты ресурсов  $r$  вида на выращивание  $i$  культуры на 1 га  $l$  категории пашни;  $p_{rqi}$  – затраты ресурсов  $r$  вида на сбор (заготовку)  $q$  вида продукции с 1 га посевной площади  $i$  культуры;  $I, Q, L$  – множества: выращиваемых

культур; видов производимой продукции; массивов пашни с различной интенсивностью использования.

Достижение поставленной цели осуществляется при выполнении следующих условий - ограничений:

1) по размерам пашни разной интенсивности использования:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S} z_{ijs}^l \leq b_l, \quad (l \in L),$$

где  $z_{ijs}^l$  - размеры севооборотных цепей на  $l$  категории пашни, в которых  $i$  - выращиваемая культура,  $j$  - предшественник,  $s$  - предпредшественник;  $b_l$  - площадь  $l$  категории пашни.

2) по формированию чередования культур в севообороте:

$$\sum_{s \in S_i} z_{ijs}^l \geq \sum_{i' \in I} z_{i'j's'}^l, \quad (i \in I, j, j' \in J_i, s' \in S_j, l \in L), I = J', j = S', I, I',$$

где  $j, j', s, s'$  - индексы выращиваемых культур или групп культур, их предшественников, предпредшественников;  $J_i, S_j$  - множества: предшественников для культуры или группы культур, предшественников для предыдущей  $j$  культуры или группы культур.

3) по определению размеров посевных площадей выращиваемых культур:

$$\sum \sum a_{ijs} z_{ijs}^l \leq \sum_{i \in I_k} x_i^l \quad (l \in L, i \in I),$$

где  $a_{ijs}$  - коэффициент изменения урожайности  $i$  культуры при условии размещения её по  $j$  предшественнику;  $I_k$  - подмножество культур ( $I_k = I$ ).

4) с учетом существующих рекомендаций о севооборотах ограничения по пределам насыщения севооборотов отдельными культурами:

$$s_{il}^{\min} \leq \sum_{j \in J} x_{il} \leq s_{il}^{\max},$$

где  $s_{il}^{\min}, s_{il}^{\max}$  - минимальные и максимальные размеры посевных площадей  $i$  группы культур на пашне с  $l$  интенсивностью использования (отдельно определяют ограничения по группам культур).

5) По эрозионной опасности состава выращиваемых культур:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{s \in S_j} f_i z_{ijs}^l \leq F_l, \quad (l \in L),$$

где  $f_i$  - коэффициент эрозионной опасности выращивания  $i$  культуры;  $F_l$  - величина, рассчитываемая по формуле:  $F_l = f_l B_l$ ;  $f_l$  - возможный коэффициент эрозионной опасности пашни  $l$  категории.

6) По бездефицитному балансу гумуса:

$$\sum_{i \in I} h_i^l x_i^l + \Delta H_l \geq H_l, \quad (l \in L),$$

где  $h_i^l$  - показатель, характеризующий влияние  $i$  культуры на содержание гумуса в пашне  $l$  категории;  $\Delta H_l$  - величина компенсирующего дефицита гумуса на пашне  $l$  категории;  $H_l$  - нижний уровень содержания гумуса на пашне  $l$  категории.

7) По распределению посевных площадей по видам использования продукции:



$$\sum_{l \in L} b_i^l x_i^l \geq \sum_{q \in Q} y_{qi}, \quad (i \in I),$$

где  $b_i^l$  - коэффициент снижения урожайности  $i$  культуры при условии выращивания её на пашне  $l$  категории.

8) По гарантированному производству продукции:

$$\sum_{i \in I} v_{qi} y_{qi} \geq v_q, \quad (q \in Q),$$

где  $v_{qi}$  - выход продукции  $q$  вида с 1 га посевной площади  $i$  культуры;  $v_q$  - заданный объем производства продукции  $q$  вида.

9) По использованию производственных ресурсов:

$$\sum_{i \in I} \sum_{l \in L} p_{ri}^l x_i^l + \sum_{i \in I} \sum_{q \in Q} p_{rqi} y_{qi} \leq p_r, \quad r \in R,$$

где  $p_r$  - наличие  $r$  вида ресурсов,  $R$  - множество используемых производственных ресурсов.

10) Условия неотрицательности переменных:

$$z_{ij}^l, x_i^l, y_{qi} \geq 0, \quad (l \in L, i \in I, q \in Q).$$

#### 4.4. Моделирование миграционных процессов

Миграцией называют перемещение в пространстве химических элементов, их ионов, соединений и вещества вообще (Л.Л.Малишева, 2000). Виды миграции классифицируют в зависимости от форм движения материи, законов и механизмов, по которым происходит перемещение, физического состояния и химической формы мигрантов, физического состояния миграционных потоков.

В зависимости от форм движения материи, с которыми связано перемещение вещества, выделяют миграцию (Л.Л.Малишева, 2000): 1) механическую, 2) физико-химическую, 3) биогенную, 4) техногенную. Каждый вид миграции происходит по определенным законам: 1) механическая – по законам механики, гидро- и аэродинамики, гравитации; 2) физико-химическая – по законам атомной и молекулярной физхимии, кристаллохимии, коллоидной химии и т.п., 3) биогенная – по законам биохимии, генетики, экологии. Каждый из видов миграции осуществляется по определенным преимущественным механизмам: 1) механическая – разрушения (выветривание, денудация, дефляция, эрозия и т.п.), 2) физико-химическая – диффузии, растворения, осаждения, сорбции, десорбции и т.п., 3) биогенная – создания и распада живого вещества (фотосинтез, дыхание, биологическое поглощение минеральных веществ из почвы, биологической аккумуляции химических элементов и т.п.), 4) техногенная – хозяйственной деятельности человека (добыча, транспортирование, внесение, собирание, выбросы, сбросы, складирование, захоронение).

Все перечисленные миграционные потоки вещества нераздельно связаны между собой, объединены в общий круговорот вещества и энергии на Земле, их сочетания на земной поверхности создают определенные типичные виды ландшафтов. Оптимизация этих потоков в районах

антропогенного прессинга предусматривает создание комфортных условий для существования биологических объектов, в том числе и человека. И, как следствие, критериями оптимальности тут могут выступать показатели экологического, санитарно-гигиенического, научно-технического нормирования, а именно предельно допустимые концентрации, токсические дозы, предельно допустимые сбросы, нормы выноса на единицу площади и т.п.

#### **4.4.1. Оптимизация миграционных процессов в почве**

Формирование и воспроизводство естественного плодородия почв тесно связано с закономерностями возникновения и развития естественных наземных экосистем и биогеохимических круговоротов. Эти закономерности следует учитывать при разработке технологических приемов, направленных на повышение и воспроизводство плодородия пахотных почв.

Еще в работах В.Р.Вильямса высказана мысль о том, что успех сельскохозяйственных технологий существенно зависит от того, насколько они вписываются в систему природных процессов и закономерностей, а не действуют вопреки им.

Согласно современным представлениям о геохимии ландшафта в соответствии с системным (структурно-функциональным) подходом под элементом системы понимают «элементарный ландшафт», а под функцией – миграцию веществ (Ф.И.Козловский, 1972).

Для разработки математической модели Ф.И.Козловский (1972) предложил уточнение структурно-функциональной схемы ландшафта, четко разграничив односторонние и двусторонние (обратные) миграционные связи различных частей ландшафта.

Обратная миграционная связь между некоторыми частями ландшафта означает наличие устойчивых во времени круговоротов веществ, охватывающих эти части. Традиционным примером подобной миграции является биологический круговорот.

Односторонняя геохимическая связь реализуется классическим сопряжением элементарных ландшафтов, занимающих определенные позиции в рельефе.

Противопоставление циклической и поступательной форм миграции, относительно, т.к. ни одна часть планеты не является строго изолированной. Разграничение двух форм миграции, необходимое для построения модели, возможно лишь для конкретного отрезка цикла и времени, а также интенсивности миграционных циклов.

Совокупность миграционных потоков, характеризуемых определенными траекториями переносимых веществ и интенсивностью, иначе говоря, совокупность воображаемых струй вещества, реализуемых в геохимическом ландшафте в многолетнем разрезе называют миграционной структурой в широком смысле слова.

Среди различных мигрантов различают две основные категории:

а) независимые мигранты, т.е. вещества, создающие в ландшафте движущую среду (миграционную фазу) как физико-химической, так и биологической природы.

б) зависимые мигранты, переносимые, в основном, потоками независимых мигрантов. К их числу относятся, в частности, растворимые соли.

Совокупность миграционных потоков, образуемых независимыми мигрантами, называют миграционной структурой геохимического ландшафта в узком смысле слова, а области их развития – геохимическими каналами ландшафта.

Структурно-функциональная модель ландшафта, предложенная (Ф.И.Козловский, 1972) опирается на предположение о том, что геохимическая (в широком смысле слова) структура ландшафта определяется его миграционной структурой в узком смысле слова и, более конкретно, водно-воздушной и биологической миграцией.

Миграционная структура большинства геохимических ландшафтов, находящихся в относительно неизменных внешних условиях, должна обладать определенной устойчивостью. Это обусловлено двумя факторами:

а) консерватизмом литолого-геоморфологического «каркаса», который при данном режиме поступления воды и газов определяет пути и интенсивность внутриландшафтных водно-воздушных потоков;

б) зависимые мигранты, переносимые в основном потоками независимых мигрантов. К их числу относятся, в частности, растворимые соли.

Совокупность миграционных потоков, образуемых независимыми мигрантами, называют миграционной структурой геохимического ландшафта в узком смысле слова, а области их развития – геохимическими каналами ландшафта.

Структурно-функциональная модель ландшафта опирается на предположение о том, что геохимическая (в широком смысле слова) структура ландшафта определяется его миграционной структурой в узком смысле слова и, более конкретно, водно-воздушной и биологической миграцией.

Миграционная структура большинства геохимических ландшафтов, находящихся в относительно неизменных внешних условиях должна обладать определенной устойчивостью. Это обусловлено двумя факторами:

а) консерватизмом литолого-геоморфологического «каркаса», который при данном режиме поступления воды и газов определяет пути и интенсивность внутриландшафтных водно-воздушных потоков;

б) устойчивостью в многолетнем разрезе структуры биоценоза.

В той или иной мере неустойчивую структуру могут иметь ландшафты с динамическими биоценозами (сукцессии растительности и

т.п.) или характеризующиеся существенной нестабильностью литолого-морфологической основы (эрозионные, карстовые и т.п.).

При выделении области геохимического ландшафта обычно наименее ясным представляется вопрос о его нижней границе.

Согласно принципу максимального миграционного взаимодействия при выделении области геохимического ландшафта и разделении его на элементарные части считается, что миграционная взаимосвязь внутри некоторой элементарной области геохимического ландшафта должна быть существенно больше, чем взаимосвязь её с внеландшафтными зонами земной коры.

Данный принцип в сочетании с требованием включения в ландшафт дневной поверхности земли достаточен для выделения ландшафтной оболочки среди других образований земной коры.

С методологической точки зрения, данный принцип обеспечивает эффективность причинного анализа, в данном случае описание состояния и свойств ландшафта, как следствия воздействия на него окружающей среды при заданном, но наперед неизвестном влиянии на миграцию внутренних факторов. Такой анализ возможен постольку, поскольку воздействие окружающей среды на данный ландшафт не зависит от обратного влияния данного ландшафта на окружающую среду. В противном случае, т.е. если указанные воздействия взаимны и количественно сопоставимы, так что изменение влияния среды на ландшафт влечет столь же сильное изменение влияния ландшафта на среду, различить в таких взаимодействиях причину и следствие не представляется возможным. Подобная ситуация в данном случае является указанием на то, что противопоставляемые объекты принадлежат к одной системе, т.е. граница, разделившая их системно не обоснована.

Поэтому нижняя граница геохимического ландшафта должна проводиться так, чтобы миграционная взаимосвязь его с нижележащей толщей была значительно ниже таковой между любыми областями внутри ландшафта. Имеются ввиду области, лежащие в определенной окрестности от некоторой вертикальной оси.

Физически это означает замыкание в данной области наиболее крупных по размерам и достаточно интенсивно действующих каналов циклической миграции, связанных с системой более мелких циклов, способных транспортировать мигрант в любую точку рассматриваемой области.

Геохимический ландшафт складывается из разнокачественных, так называемых элементарных ландшафтов, связанных миграцией элементов. При определении боковых границ и размеров элементарных ландшафтов основными критериями является пространственная однородность компонентов ландшафта (почв, пород, ценоза).

С позиций развиваемой модели размеры и границы элемента геохимического ландшафта должны определяться внутренней дифференциацией его миграционной структуры. Подобный элемент также

должен удовлетворять принципу максимального миграционного взаимодействия, т.е. внутри такого элемента миграционные взаимодействия должны быть более интенсивны, нежели взаимодействия между любыми двумя элементами.

В произвольно выбранных соседних блоках с функциональной границей между ними миграционная взаимосвязь, отнесенная к единице объема блоков, имеет общую тенденцию к уменьшению по мере увеличения блоков. Если предположить, что поле геохимической миграции неоднородно, то ландшафт может быть разделен на мозаику блоков таким образом, что миграционная взаимосвязь внутри блоков будет сильнее таковой между любыми из соседних блоков. Вероятно, во многих случаях такое разделение может быть выполнено единственным оптимальным способом так, что миграционная взаимосвязь внутри любого блока будет уменьшаться при любом непрерывном изменении любой границы между блоками.

Выделяют основной миграционный цикл (ОМЦ) – фрагмент миграционной структуры геохимического ландшафта, характеризуемый наиболее высокой интенсивностью внутренних миграционных взаимодействий и соизмеримый по вертикали с мощностью геохимического ландшафта. Области, включающие ОМЦ называют – элементарными ячейками ландшафта.

Определение границ чаще всего проводят корреляционными методами.

Кроме всего выше сказанного, геохимические потоки подразделяют на 2 категории (Ф.И.Козловский, 1972):

1. Внеландшафтный геохимический поток (ВГП) – не имеет двусторонней миграционной связи с ландшафтной оболочкой (поток либо к ландшафту либо от него).

2. Ландшафтно-геохимический поток (ЛГП) – направленное параллельно земной поверхности поступательное движение веществ внутри геохимического ландшафта. Это совокупность равнодействующих перемещений мигрантов между элементарными ячейками ландшафта.

Реальные процессы, формирующие ОМЦ и ЛГП протекают во времени неравномерно. ОМЦ обычно складывается из ряда противоположных по направлению движения миграционных фаз (восходящие – нисходящие и т.п.) сменяющие друг друга в годовом цикле. Поэтому за минимальную единицу времени принимают 1 год, а в некоторых случаях и многолетний климатический цикл.

Баланс мигранта в пределах элементарной ячейки ландшафта должен учитывать (Ф.И.Козловский, 1972):

- 1) приток веществ извне и отток их за пределы ЭЯЛ;
- 2) мобилизацию мигрантов и иммобилизацию их, т.е. переход неподвижных форм в подвижные и наоборот;
- 3) перераспределение мигрантов внутри ЭЯЛ.

Для естественных экосистем и агроэкосистем наблюдается ряд отличий в особенностях биогеохимических круговоротов.

В естественных ценозах круговорот веществ близок к замкнутому, поступление элементов с осадками и опадом практически равно биологическому поглощению элемента растениями. Замкнутость цикла обусловлена также наличием биологических барьеров из зеленых и сфагновых мхов, препятствующих выносу дефицитного элемента питания водами поверхностного стока за пределы экосистемы.

В агроценозе круговорот веществ характеризуется более выраженной замкнутостью цикла по сравнению с природным ценозом, которая обусловлена 1) несбалансированностью поступления и выноса веществ; 2) образованием запасов нерастворимых соединений при взаимодействии минеральных удобрений с почвой, что приводит к низким коэффициентам использования питательных веществ из удобрений (см. Гл.3). Кроме того, в агроэкосистемах существенно возрастает вынос веществ с водами поверхностного стока, особенно при развитии эрозии, что связано с отсутствием системы биологических барьеров. Варьирование величин потоков вещества в агроэкосистемах очень велико, т.к. они зависят от продуктивности агроэкосистем, уровня окультуренности почвы и применения удобрений.

В агроэкосистемах также под влиянием многолетнего применения тяжелой техники на полях формируется подпахотный уплотненный слой на глубине 40-45 см, который служит определенным барьером для вертикальной миграции элементов в почве и является причиной возникновения бокового потока временных подпочвенных вод в периоды сезонного увеличения поступления осадков в почву (весна, лето).

Сравнение показывает, что функционирование природных экосистем, организация в них трофических связей по многим критериям значительно превосходят агроэкосистемы, созданные и регулируемые человеком (см. Гл.1).

Как в природных ценозах, так и в агроэкосистемах наблюдаются более высокие коэффициенты использования элементов из растительных остатков по сравнению с минеральными соединениями, что свидетельствует о целесообразности создания благоприятных условий для тех культур в севообороте, которые оставляют наибольшее количество пожнивно-корневых остатков, т.е. многолетних трав. При внесении невысоких и средних доз минеральных удобрений под многолетние травы увеличивается не только урожай трав и поступление в почву пожнивно-корневых остатков, но и урожай последующих культур, идущих по пласту и обороту пласта многолетних трав. Одна из причин эффективности такого приема – повышение коэффициентов использования и эффективности минеральных удобрений за счет возрастания кратности использования элемента, удержания его в течение длительного времени в доступной для биологического поглощения форме подобно тому, как это происходит в природных экосистемах. Кроме того, при этом повышается биологическая

активность почвы и соответственно увеличивается её способность к детоксикации загрязнителей, а также снижаются эрозионные процессы и вынос удобрений со склоновым стоком.

При активизации механизмов поддержания плодородия, характерных для природных экосистем возможна оптимизация почвенного плодородия агросистем за счет внесения не минеральных удобрений, а «минерального сырья», а также органических веществ, разлагаемых и гумифицирующихся в данных условиях, и активизации микробиологической деятельности.

При вековой стабильности нормальных биогеохимических циклов массовые сосредоточенные изменения, вызываемые человеком в экосистемах хозяйственными приемами, новыми продуктами, различными отходами перегружают приходные, транзитные или расходные звенья круговорота веществ. Происходят случаи разрушения и выпадов целых звеньев или компонентов круговоротов.

Процесс компенсации расходных звеньев в агроценозах сложен. Он не решается простым сложением или вычитанием. Растения не используют на 100% вносимые удобрения. Дозу их приходится увеличивать по сравнению с выносом. При этом часть элементов питания выходит из биологического круговорота: надолго закрепляется в почве или поступает в атмосферу и гидросферу. Процесс использования питательных элементов и выход их из биологического круговорота часто сопровождается накоплением в почве и вовлечением в биологический круговорот сопутствующих, часто нежелательных элементов, компонентов вносимых удобрений.

В балансовых расчетах при оценке составляющих циклов элементов в настоящее время обязательно учитывают поступление элементов с осадками и выход элементов из биологического круговорота с поверхностным и внутрипочвенным стоком и при поступлении в виде газа в атмосферу. В естественных ценозах поступление элементов и их выход из биологического круговорота количественно близки. В агроценозах, в связи с внесением минеральных и органических удобрений, а также в связи с распашкой почвы вынос элементов с внутрипочвенным и поверхностным стоком в несколько раз превышает их поступление с осадками.

В почве происходит обмен не только веществом, но и энергией. С термодинамических позиций почва представляет собой открытую полифазную поликомпонентную систему. Изменение состояния подобных систем можно описать рядом простейших понятий, отражающих процессы поступления энергии, её диссипации и работы (С.Я.Трофимов, С.Н.Седов, 1997). Функционирование системы практически сводится к совершению работы за счет подводимой энергии.

Солнечная энергия, попадая на поверхность горной породы, превращается в тепло, попадая на листовую поверхность частично запасается в виде органического вещества, за счет которого может быть

совершена работа химических и механических процессов. Чем более развит биогеоценоз, тем меньше рассеивается тепла, тем больше энергии может быть превращено в работу.

Для систем, находящихся в стационарном состоянии, свободная энергия постоянна. Совершение работы неизбежно сопровождается диссипацией энергии.

В общем виде можно рассчитать изменение термодинамических показателей на основании баланса веществ, участвующих в почвообразовании, по удельным термодинамическим характеристикам компонентов, используя основное уравнение неравновесной термодинамики. Поскольку среди веществ, которыми обменивается почва с окружающей средой и которые накапливаются в процессе развития почвы, основная масса приходится на органическое вещество, кислород, необходимый для его окисления и продукты трансформации – углекислый газ и воду, то в самом общем виде изменение энергии за счет обмена с внешней средой можно подсчитать на основании годового баланса органического вещества.

Для почвоведов большой интерес представляют не только интегральные энергетические характеристики, но и способ пространственной организации функциональных блоков почвы в зависимости от условий почвообразования. Поскольку преобразование энергии в первую очередь связано с органическим веществом, то именно его распределение в почве имеет принципиальное значение, поскольку сходный уровень свободной энергии может быть получен различными способами.

Выявлено, что и для почвенного минералообразования, как и для процессов трансформации органического вещества, характерно формирование метастабильных продуктов с относительно высокой свободной энергией, а не наиболее устойчивых низкоэнергетических фаз, так как формирование стабильных соединений идет медленнее.

Целесообразность использования энергетического подхода при исследовании процессов почвообразования, миграции веществ в почве подтверждается тем фактом, что исследование связи параметров гумусовых профилей с гидротермическими факторами и их лимитирующими комбинациями (ГТК, индекс сухости и др.) показывает слабую их обусловленность, в то время как использование в зависимостях характеристик радиационного баланса дает хорошие результаты (Ф.Н.Лисецкий, 2000). В частности, В.Р.Волобуев (1959) предложил рассчитывать затраты радиационной энергии на почвообразование ( $Q$ ):

$$Q = 41,87 \left[ R \cdot \exp \left( - 18,8 R^{0,73} / P \right) \right], [\text{МДж}/(\text{м}^2\text{год})]$$

где  $R$  – радиационный баланс, ккал/(см<sup>2</sup>год);  $P$  – годовая сумма осадков, мм.

С помощью данной зависимости удалось создать (В.Р.Волобуев, 1969) единую биоэнергетическую систему общностей (парагенетических



семейств почв и растительности), в генерализованном виде выражающую закономерности зональных смен ландшафтов на земной поверхности.

При отсутствии прямых наблюдений за составляющими радиационного баланса рекомендуется использовать его зависимость от суммы активных температур воздуха выше  $10^{\circ}$  ( $\sum t > 10^{\circ}$ ), выведенной для равнинной части ЕТС (Ф.Ф.Давитая, Ю.С.Мельник, 1970):

$$R = 41,87 \left[ 0,0121 \left( \sum t > 10^{\circ} \right) + 9,9289 \right],$$

где R – радиационный баланс, МДж/(м<sup>2</sup>год).

Зависимость предельной мощности гумусового горизонта почв ( $H_{\infty}$ , мм) от энергетических затрат на почвообразование (Ф.Н.Лисецкий, 2000) имеет вид:

$$H_{\infty} = 10,85 g e^{0,0044 Q},$$

где g- поправочный коэффициент на различия в гранулометрическом составе почв: для песчаных и супесчаных почв – 1,4; легкосуглинистых – 0,95; средне- и тяжелосуглинистых – 1,0; глинистых – 0,72.

В общем процессе преобразования почв важную роль играет загрязнение их отходами технологического производства (В.В.Добровольский, 1999, 2009). Среди приоритетных загрязнителей выделяют тяжелые металлы. Почва является основным приемником и аккумулятором техногенных масс тяжелых металлов. Признаками загрязнения могут служить: 1) повышенное среднее значение концентрации металла по сравнению с фоновым значением; 2) расширение пределов разброса аналитических данных за счет значений, превышающих среднее статистическое. Попытки установить некий универсальный для всех почв уровень концентрации металла, превышение которого является сигналом загрязнения, с научной точки зрения несостоятельны (В.В.Добровольский, 1999, 2009). Установление факта загрязнения почв тем или иным тяжелым металлом возможно лишь путем сопоставления данных, относящихся к площади предполагаемого загрязнения с показателями геохимического фона. Мерой интенсивности загрязнения служит коэффициент аномальности ( $K_a$ ), равный отношению среднего значения концентрации металла в загрязненной почве (C) к природной норме, геохимическому фону ( $C_n$ ):

$$K_a = C/C_n.$$

В табл.4.21 предлагается шкала интенсивности загрязнения тяжелыми металлами гумусового горизонта почв.

#### **4.4.2. Оптимизация миграции веществ и энергии по земной поверхности**

Механическая миграция вещества по земной поверхности является одной из форм физического выветривания и представляется процессами смыва-намыва почв и пород, перекачиванием их под действием сил тяжести и т.п. Она приводит к дифференциации почвенного покрова,

**Таблица 4.21.** Шкала интенсивности загрязнения почв тяжелыми металлами (В.В.Добровольский, 1999, 2009). (а) – Ка рассчитанный по среднему значению валовой концентрации металла по данным эмиссионной спектроскопии; б) – то же, но рассчитанный по среднему значению концентрации активных форм металла (экстракция 0,1-н HCl) по данным атомно-абсорбционной спектроскопии)

Категория интенсивности загрязнения	Коэффициент аномальности Ка
Природная флуктуация содержания металла и отдельные сигналы загрязнения	а) <5
	б) <1
Слабое загрязнение	а) 5-10
	б) 1-2,0
Умеренное загрязнение	а) 10,1-30
	б) 2,1-6,0
Сильное загрязнение	а) >30
	б) >6

образуя денудационные и аккумулятивные участки, замедляя или ускоряя образование почвенных профилей (А.Н.Геннадиев, А.П.Жидкин, 2012). Одной из форм механической миграции вещества является эрозия почв.

Вся совокупность процессов разрушения и переноса продуктов разрушения называется денудацией. Продукты денудации, согласно их динамичности подразделяются на : 1) элювий - продукты остающиеся на месте образования; 2) делювий - продукты, транспортируемые при денудации; 3) аллювий - продукты, образующиеся в результате отложения продуктов денудации.

По характеру генезиса денудация разделяется на несколько видов:

1. Физико-химическое выветривание - воздействие температур, осадков и их ионного состава на процессы разрушения. Чаще всего являются причиной образования элювия.

2. Водная эрозия и дефляция (ветровая эрозия) - разрушение подстилающей поверхности и перенос продуктов разрушения, являются причиной образования делювия, а в некоторых случаях и аллювия;

3. Русловая эрозия - разрушение движущимся потоком подстилающего ложа, является причиной образования аллювия;

4. Агротехническая эрозия - постепенное перемещение грунта вниз по склону под действием обрабатывающих почву орудий, а также разрушение её структуры в результате распыления, что способствует образованию элювия и делювия.

В целом, процесс водной эрозии представляет собой сложную структуру, каждая ветвь которой обеспечивается определенным механизмом, но в то же время поддерживается, а иногда и существует только благодаря наличию тесной взаимосвязи всех компонентов структуры.

Особое внимание при изучении эрозии почв необходимо уделять химической стороне процесса, т.к. вода является, прежде всего, химическим телом и не все эрозионные образования можно объяснить механическим воздействием.

В современных исследованиях эрозии почв основное внимание уделяется определению критических скоростей движения и падения воды (размывающих, незаиляющих и т.п.), устойчивости почвенной структуры (определение сил сцепления или усталостной прочности на разрыв), объемам и слоям стока воды, а также определению смыва почвы.

Как и в любой науке в эрозиоведении разрабатывается два направления исследований - теоретические и эмпирические. Вторые преобладают на данном этапе, поскольку временная и пространственная разобщенность ещё не позволяет создать более строгой эмпирической или теоретической концепции. Хотя некоторые попытки пространственных обобщений эмпирического материала имеются (Н.И.Коронкевич, В.Е.Водогрецкий, В.П.Герасименко, Г.П.Сурмач). К примеру, в работах В.П.Герасименко (1987, 1993, 1995) приводятся ряд обобщений для территории практически всего бывшего СССР. Общей пространственной закономерностью смыва почв, отмеченной В.П.Герасименко (1995), на зяби и уплотненной пашне является подчинение его распределения закону широтной зональности. Наибольший смыв почвы наблюдается в лесной зоне, где достаточно велика энергетическая способность весеннего поверхностного стока и распространены дерново-подзолистые и серые лесные почвы с маломощным гумусовым горизонтом, обладающие слабой противозэрозионной стойкостью.

**Эрозия почв и способы ее предупреждения.** Для защиты почв от эрозии разработано ряд мероприятий, а также предложены различные системы земледелия (рис.4.2). Однако сложность и многофункциональность процесса, недостаточная степень изученности и несовершенство применяемых методов изучения пока что делают эти мероприятия малоэффективными, а зачастую и вызывающими отрицательные эффекты: мочары, оползни и т.п.

Эрозию почв, как и любой неблагоприятный процесс легче предупредить, чем устранить. К основным требованиям, позволяющим предупредить процесс эрозии, относят следующие (Эрозии заслон...,1979):

- 1) Рационально использовать каждый гектар угодий с учетом опасности возникновения условий для развития того или иного вида эрозии, почвозащитных свойств различных агрофонов;
- 2) Обрабатывать почву по возможности только поперек склона;
- 3) Не допускать вспашки крутых берегов балок и рек, дна балок и ложбин, прирусловых участков поймы рек, если это может привести к интенсивному выдуванию, смыву и размыву почвы.

4) Охранять от сильных потрав и уничтожения травянистый покров и лесные насаждения, которые способствуют распылению потоков воды и защищают почву от ветровой и водной эрозии.

5) Избегать размещения дорог, границ полей, лесных полос и направления обработки почвы, при которых могут возникнуть искусственные водосборы и концентрация стока в эродирующие потоки.

6) Не допускать сброса потоков воды на незащищенные от эрозии крутые и обрывистые берега оврагов, балок, откосы карьеров и каналов.

7) Прекратить неорганизованные съезды с крутых склонов, берегов балок и рек, особенно в периоды переувлажнения грунта, а также по снегу в зимне-весенние оттепели.

8) Запретить съезды вниз по берегам балок и рек на тракторах с работающими плугами и др. почвообрабатывающими орудиями.

9) Не допускать выпаса скота на крутых склонах, берегах балок и рек с переувлажненной почвой после ливней и в период поверхностного её оттаивания весной.

10) Не устраивать прогоны скота на крутых берегах балок и рек, по дну ложбин, потухших оврагов, балок, где имеется опасность возникновения береговых и донных промоин и оврагов.

11) Не устраивать ям, канав и перепадов на эрозионно-опасных склонах, берегах рек, балок, оврагов, ложбин и по их дну.

12) Запретить распашку водоподводящих русел, по которым вода с полей поступает в вершины оврагов.

13) В случае возникновения размыва немедленно осуществлять меры по его ликвидации.

14) Не создавать лесных полос не продуваемой конструкции, особенно при размещении их вдоль склона и со значительным отклонением от горизонталей.

15) Стремиться к максимальному покрытию почвы растениями или их остатками.

16) Не допускать обработки пересушенной почвы в ветренную погоду.

17) Механические обработки зяби и пара сводить к разумному минимуму, что будет способствовать сохранению структуры и устойчивости почвы к ветру.

В настоящее время все существующие методы борьбы с эрозией почв подразделяются на агротехнические, лесомелиоративные и гидротехнические.

К агротехническим относят способы обработки почвы и расположения культур на склоне. К лесомелиоративным - размещение лесных полос и залужения по длине склона и в плане. К гидротехническим - валы, валы- канавы, террасы, валы-террасы и т.п. Все они применяются дифференцированно согласно степени развития эрозионных процессов и смывости почв (табл.4.22).

**Таблица 4.22.** Основные рекомендации по борьбе с эрозией для земель в разной степени подверженных эрозии (по Т.А.Романовой и др., 1969)

Степень эродированности почв или категория подверженности земель эрозии	Основные рекомендации по борьбе с водной эрозией			
	организационно-хозяйственные	агротехнические	лесомелиоративные	гидротехнические
I. неэродированные	структура посевных площадей с учетом возможной эрозии (на пологих склонах)	обычная агротехника	-	-
II. слабоэродированные	размещение полей дорог, скотопрогонов и пр.	пахота и др. приемы обработки почвы поперек склонов. Занятые пары	-	-
III. среднеэродированные	те же, что для II категории, почво-защитные севообороты (ограничение пропашных, увеличение доли трав)	те же, что для II, регулирование снеготаяния углубление пахотного горизонта рыхлителями. Внесение повышенных доз удобрений и извести	создание полевых защитных полос по границам полей и аллейных насаждений вдоль дорог	устройство водоуловительных канав, валов-канав, укрепление оврагов, засыпка водороев
IV. сильноэродированные	те же, что для II противоэрозионные севообороты 5-10 полей многолетних трав с 1-2 полями зерновых	сплошное или полосное залужение, заравнивание промоин	те же, что для III, насаждения из кустарников по тальвегам	те же, что для III, устройства различных террас залужением или облесением валов
V. очень сильно эродированные	-	-	облесение, залужение	те же, что для IV

По длительности действия противоэрозионные мероприятия делятся на временные (сезонные) к ним в основном относят агротехнические мероприятия и постоянного действия это лесные полосы и гидротехнические сооружения.

По степени задержания стока на склонах почвозащитные приемы подразделяются (Д.Е.Ванин и др.,1985):

1) Полностью задерживающие сток талых и ливневых вод расчетной обеспеченности и прекращающие смыв почвы и оврагообразование (гидротехнические сооружения).

2) Частично сокращающие сток воды и смыв почвы (большинство агротехнических и лесомелиоративных мероприятий).

3) Не сокращающие сток, но уменьшающие рост оврагов (водоотводящие борозды и наклонные валы на пашне, распылители стока и т.п.).

4) Увеличивающие сток воды и рост оврагов, но резко сокращающие смыв почвы (посевы многолетних трав и озимых культур, минимальные и нулевые обработки).

Одним из основных звеньев в системе защиты почв от эрозии является научно обоснованная организация территории, проводимая с учетом рельефа, поверхностного стока, ветрового режима и т.п. Одной из составных частей организации территории является размещение её линейных элементов: границ землепользования, угодий, полей севооборотов, рабочих участков, лесных полос, дорог. Их необходимо размещать так, чтобы избежать концентрации стока с больших площадей водосборов и снегосборов и создавать условия для распыленного сброса его на защищенные растительностью склоны (табл.4.23, и 4.24).

Агротехнические противоэрозионные мероприятия уменьшают поверхностный смыв почвы в местах его возникновения. К ним относятся различные способы обработки почвы, снегозадержание, полосное размещение культур и т.п. Однако применение агротехнических мероприятий должно строго регламентироваться особенностями почвенного покрова и рельефа местности. Так, на склонах крутизной более 3°, особенно при наличии ложбин, поперечная обработка не защищает почвы от размыва (Ф.Т.Моргун и др.,1988). На почвах с механической и химической суффозией не применяют лункование, щелевание и т.п. мероприятия, увеличивающие объем поступления воды в почву, т.е. не

**Таблица 4.23.** Допустимые отклонения направлений границ посевных полос от горизонталей (по К.Л.Холупяку, 1976)

Крутизна склона, град	Допустимый угол отклонения, град.	Длина участков с допустимыми отклонениями, м
2-3	50-30	25-20
3-6	30-15	20-15
6-8	15-10	15-10
8	10	10

**Таблица 4.24.** Минимальные уклоны, обеспечивающие отвод стока вдоль границ (по А.Н.Костякову), в %.

Длина границ, м	Продольный уклон границ при уклоне местности, %	
	5	10
0-90	0,04	0,06
90-180	0,08	0,12
180-270	0,16	0,24
270-360	0,32	0,48
360-450	0,48	0,56

везде создание изрезанного микрорельефа, сдерживающего движение воды по уклону и ускоряющего её впитывание могут дать положительный эффект. М.Н.Заславским (1972) составлены примерные рекомендации по эффективности агротехнических приемов в зависимости от природных особенностей склонов (табл.4.25). Эффективность различных агротехнических мероприятий можно продемонстрировать на примере табл.4.26.

Стокорегулирующую способность того или иного агротехнического приема различной обеспеченности В.П.Герасименко и В.С.Бурменский (1981) рекомендуют оценивать по формуле:

$$K_p \% = \frac{\lambda \bar{Y}_o}{Y_k}$$

где  $Y_o$ ,  $Y_k$  – соответственно, осредненный за период наблюдений сток в условиях опыта и контроля;

$$\lambda = (C_{vo}\Phi_o - 1)/(C_{vk}\Phi_k + 1)$$

где  $C_{vo}$ ,  $C_{vk}$  - коэффициенты вариации соответственно опыта и контроля;  $\Phi_o$ ,  $\Phi_k$  - ординаты интегральных кривых распределения находятся по таблицам (числа Фостера).

Факт индеферентности лункования, прерывистого бороздования и комбинированной вспашки ( $K_p\%=1$ ) в отношении стока талых вод В.П.Герасименко и В.С.Бурменский (1981) объясняют тем, что при поделке микрорельефа почва уплотняется рабочими органами машин и орудий, что наряду с увеличением объема поверхностного задержания приводит к уменьшению впитывающей способности. Водопроницаемость почвы в днищах лунок и борозд снижается в связи с заилением порового пространства во время осеннего дождя, а также зимой во время оттепелей после образования притертой ледяной корки, которая при формировании стока играет роль «запирающего» слоя, что приводит к переполнению емкостей и прорыву гребней. Однако В.Н.Зайцев (1981), проводя исследования на североприазовском черноземе тяжелосуглинистого состава отмечает увеличение водопроницаемости по сравнению с контролем на зяби с лункованием на 2,48 мм/мин, бороздованием - на 2,52 мм/мин, на варианте со щелеванием она оказалась ниже контроля на 1,15 мм/мин.

**Таблица 4.25.** Рекомендации по применению противоэрозионных приемов обработки почв с учетом важнейших природных условий склоновых земель (по М.Н.Заславскому, 1972)

Прием противоэрозионной обработки почв	Условия применения									
	увлажненность территории		сток вод, вызывающих эрозию		тип склона		крутизна склона, грд		вдопроищаемость почв	
	избыточная и достаточная	неустойчивая и недостаточная	талые	дождевые	простой однокатный	сложный многоскатный	до 5-8	круче 5-8	высокая	низкая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Поперечная обработка	+(++)	+++	++	++	+	-	++	++	++	+++
Контурная обработка	+(++)	+++	++	++	-	+	++	++	++	+++
Вспашка под небольшим уклоном к горизонталям	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+++
Вспашка глубже 22см	++	+++	++	+	++	++	++	+++	++	+++
Вспашка с почвоуглублением	++	+++	++	+	++	++	++	+++	++	+++
Безотвальная система обработки	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	+
Ступенчатая вспашка	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+++
Комбинированная отвально-безотвальная, ступенчатая вспашка	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+++
Обычная комбинированная отвально-безотвальная вспашка	+	+	+	-	+	+	+	+	+	+
Вспашка зяби с одновременным бороздованием и валкованием	-	+	+	-	+	-	+	+	+	+++
Вспашка зяби с одновременным прерывистым бороздованием	-	+	+	-	+	+++	+	+	+	+++
Вспашка зяби с одновремен.поделкой микролиманов	-	+	+	-	+	+++	+	+++	+	+++
Вспашка зяби с одновремен лункованием	-	+	+	-	+	+++	+	+	+	+++
Бороздование и валкование зяби и пара	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+++
Прерывистое бороздование зяби и пара	-	+	+	+	+	-	+	+	+	+++
Поделка микролиманов на зяби и пару	-	+	+	+	+	+++	+	+++	+	+++
Лункование зяби и пара	-	+	+	+	+	+++	+	+	+	+++



Продолжение табл.4.25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Нарезка наклонных борозд для безопасного сброса вод	+	-	+	+	+	+++	+	+	+	+++
Щелевание	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	+++
Полосное рыхление	+	+	+	+	+	+	+	+++	+	+++
Кротование	+++	+	+	+	+	+	+	+++	+	+++
Прикатывание с одновременным валкованием	+	+++	-	++	+	+	+	+	+	+++
Прикатывание с одновременным щелеванием и валкованием	+	+++	-	++	+	+	+++	+++	+	+++
Посев поперек склона перекрестный посев со вторым направлением сева поперек склона	+	+++	+	+++	+	-	++	++	+	+
Контурный посев	+	+++	+	+++	+	-	++	++	+	+
Посев с одновременным щелеванием	-	+	+	+++	+	+++	+	+++	+	+++
Посев с одновременным прикатыванием валкованием и щелеванием	-	+	+	+++	+	+++	+	+++	+	+++
Посев сеялками СЗС-9 с одновременным прерывистых бороздок	-	+	+	+++	+	+++	+	+	+	+++
Бороздковый посев	-	+	+	+++	+	+	+	+	+	+
Осеннее щелевание под посевами озимых	-	+	+	+	+	+	+	+++	+	+++
Весеннее щелевание под посевами озимых и яровых	-	+	-	+	+	+	+	+++	+	+++
Щелевание при обработке междурядий пропашных	+	+++	-	+	+	+	+	+++	+	+++
Прерывистое бороздование при обработке междурядий пропашных	+	+++	-	+	+	+	++	+	+	+++
Щелевание и прерывистое бороздование при обработке междурядий пропашных	+	+++	-	+	+	+	+	+++	+	+++

(-)-прием не применим, (+) - может применяться, (++)-необходим, (+++)-особенно эффективен

**Таблица 4.26.** Смыв почвы (т/га) в зависимости от варианта обработки почвы. Чернозем обыкновенный слабо смытый (И.А.Скачков, П.С.Трегубов, 1968)

Вариант	Смыв почвы, т/га
Обычная вспашка на 20-22см (контроль)	4,0
Обычная вспашка на 20-22см+валки и перемышки	0
Обычная вспашка на 20-22см с почвоуглублением на 15 см	19,6
Безотвальная вспашка на 35-40см (стерня 10-15см)	0
Непашь (стерня 10-15см)	2,3

Противоэрозионные гидротехнические сооружения делят по назначению (уменьшающие поверхностную эрозию до допустимых норм и предупреждающие линейную эрозию), по характеру взаимодействия с поверхностным стоком (водозадерживающие, водонаправляющие, водосбросные и донные), по месту размещения, конструктивным признакам и видам материала из которого они построены (М.М.Копистинский, 1988).

В практике противоэрозионного строительства на водосборной площади обычно применяют земляные сооружения - горизонтальные валы-террасы или валы с широким основанием, наклонные валы-террасы, водозадерживающие валы, валы-канавы, распылители стока, нагорные канавы (П.Н.Проездов, 1996).

Валы-террасы (гребневые террасы) размещают на склонах до 6°. Они выполаживают пахотный склон. Поверхностные воды здесь стекают очень медленно, в результате смыв приостанавливается. Их стоят по горизонталям местности по возможности с минимальным числом изгибов и параллельно один другому. Высота валов колеблется от 30 до 60 см, ширина основания должна быть не менее 8-12 - кратной высоте вала. На склонах от 8° до 24° сооружают ступенчатые террасы.

Для пахотных земель с уклонами 1-3° рекомендуют напашные валы-террасы. На склонах 3-5° и на непашотных землях рекомендуются валы-канавы, представляющие собой уплотненную земляную дамбу не выше 2 м, расположенную поперек склона и имеющую перед собой канаву, грунт из которой пошел на сооружение вала. Наиболее часто валы и канавы строят с сухим откосом вала 1-1,5 м, с мокрым откосом вала и нижним откосом канавы 1,5-2,0 м, с верхним откосом канавы 2-5 м. Ширина вала по гребню 2,5 м. Отметки гребня вала проектируют не менее чем на 0,2 м выше расчетного уровня воды.

Конструктивными элементами вала является тело вала, ставочек перед валом, перемышки, шпоры и дренаж. Шпоры - земляные дамбы строят для предотвращения обтекания вала водой. При значительной длине вала, ставочек делят перемышками, размещаемыми перпендикулярно валу, чтобы в случае прорыва его тела не вся вода вытекла из ставочка, расстояние между перемышками 150-200 м зависит от возможного вреда, причиненного прорывом вала.

Кроме регулирования смыва почв, ГТС способствуют увеличению запасов влаги на полях, площадь дополнительного увлажнения увеличивается на 11-

23% (Н.М. Шелякин и др., 1986). А.Г.Рожков и В.К.Подгорный (1981) отмечают, что на террасированных склонах по сравнению с не террасированными больше задерживается снега, особенно в выемочных частях, что способствует резкому уменьшению глубины промерзания почвы (в 2-2,5 раза) и повышению впитывания талых вод. Урожай на темно-серых лесных почвах на террасированных вариантах повышался на 13-34%. Эффективность применения валов-террас на пашне по В.К.Подгорному (1985) выражается в увеличении в средние по водности годы снегозапасов на 13-18%, урожайности культур на 9-10%. Сток талых вод на валах-террасах с межтеррасным пространством 32,4 – 36,0 м в многоводные годы сокращался на 55-78 %, в маловодные на 100 %, при расстоянии 43,2 – 46,8 м соответственно 68-73 % и 97-100 %.

Обычно все земляные противоэрозионные сооружения проектируют на задержание стока воды 10%-ной обеспеченности.

Расстояние между гидротехническими сооружениями на отрезках склона с различной крутизной можно определить по формуле (В.А.Белолипский и др.,1990) (lрасч):

$$l_{расч} = (1 V_{гс}) / (\Delta W K_a K_{пп} K_L),$$

где l - длина склона на плане (см), обеспечивающая заданное приращение потенциального объема стока;  $V_{гс}$  - объем водопоглощения 1 пог.м гидросооружения, м<sup>3</sup> (валы-канавы от 0,4 до 0,8 м<sup>3</sup>/пог.м, валы-террасы - 0,8м<sup>3</sup>/пог.м);  $\Delta W$  - объем приращения потенциального стока, м<sup>3</sup>/пог.м;  $K_a$ ,  $K_{пп}$ ,  $K_L$  - стокорегулирующие коэффициенты агрофона, противоэрозионных приемов и длины склона.

Протяженность гидротехнических сооружений рассчитывают по формуле ( $L_{гс}$ , км):

$$L_{гс} = \frac{F10}{l_{гс}},$$

где F - площадь водосбора, га;  $l_{гс}$  - расстояние между сооружениями, м.

Расстояние между рядами валов на склоне можно определить также по формуле А.Н.Костякова:

$$l_{гс} = \frac{v_{доп}^3}{m^2 C h \sigma},$$

где m – коэффициент, характеризующий изрезанность склонов, м; h - интенсивность ливня;  $\sigma$ - коэффициент стока; C- угол;  $v_{доп}$  - допустимая неразмывающая скорость движения воды.

И.К.Срибный (1977) рекомендует расчет расстояния между рядами водоперехватывающих валов проводить по формуле:

$$l_{гс} = \frac{75000 v_{доп}^3}{a z^3 \alpha_m K_a b p I_{ск}},$$

где az - коэффициент, учитывающий шероховатость поверхности склона;  $\alpha_m$  - коэффициент максимального стока от ливней в зависимости от почв и

растительности при уклоне склонов  $9^\circ$ ,  $K_\alpha$  - поправочный коэффициент, учитывающий влияние уклонов на сток,  $br$  - ширина первичной ручейковой сети вдоль склона, м.

Лесомелиоративные мероприятия - это создание водорегулирующих лесополос, илофильтров, насаждений в гидрографической сети и у оврагов.

Водорегулирующие лесные полосы уменьшают смыв почвы, накапливают снег и увеличивают запасы продуктивной влаги в почве при условии правильного размещения их на склоне.

Согласно Г.А.Добровольскому и В.А.Ландину (1978) зона положительного мелиоративного влияния противоэрозионных лесополос находится в пределах 10-15Н (Н - высота насаждений) с заветренной стороны и 5-6Н с наветренной. Запасы снега в зоне влияния этих насаждений увеличиваются в 1,5 - 2,5 раза, период снеготаяния удлиняется в 1,3-1,5 раза. Все виды насаждений существенно снижают глубину промерзания почвы и значительно увеличивают водопроницаемость мерзлых почв (в 3-5 раза).

В.Н.Дьяков (1993) подсчитал степень уменьшения поверхностного стока лесополосами с гидротехническими сооружениями в междурядьях и без них.

Необходимую площадь лесных полос (включая прибалочные) на выпуклых склонах теневых экспозиций можно рассчитать по формуле В.Н.Дьякова (1992, 1993):

$$Y_1 = 2,69 + 0,193X_1 - 0,547X_2$$

где  $X_1 = (h/l)100$ ,  $l = X_2$  - длина склона, км,  $h$  - заложение склона, км.

Для склонов световой экспозиции

$$Y_2 = 2,95 + 0,138X_1 - 0,527X_2.$$

Минимально-необходимую площадь лесных участков на водосборе можно также определить по формуле (М.М.Приходько и др., 1994):

$$S = \frac{QCF}{2VT}, \text{ га.}$$

где  $Q$  - максимальное количество осадков за сутки 10% обеспеченности;  $C$  - коэффициент поверхностного стока,  $F$  - площадь водосбора, га,  $V$  - водопроницаемость лесной почвы, мм/мин (под дубом - 25-30 мм/мин, буком - 12-20 мм/мин, сосново-еловыми и еловыми лесами - 5-6 мм/мин, в 25-30-летних лесополосах древесно-кустарникового типа - 10-16 мм/мин, в кустарниках - 40-60 мм/мин, в узких (3-5м) лесополосах без кустарников 2-4 мм/мин),  $T$  - период добегающего поверхностного стока, мин.

Примерные площади под лесными полосами (Н.Г.Конокотин, 1980) не должны превышать 3-4% от защищаемой ими территории. Слишком широкие лесополосы малоэффективны, поэтому на пашне следует проектировать трех- и четырех-рядные лесополосы шириной 7,5-10,0 м. Более широкие лесополосы рекомендуется создавать на средне и сильноэродированных почвах, где интенсивность смыва достигает 50 и более тонн с 1 га, однако нет необходимости делать их шире 12-15 м.

Оптимальное число рядов насаждений в полевозащитной лесополосе зависит от угла подхода к ней ветра, её ажурности, высоты насаждений и т.п.

А.Ю.Раков (1991) указывает, что если дальность действия лесополосы на ветер не менее чем в два раза превышает дальность их влияния на смыв, целесообразна замена лесополосы контурными буферными полосами из многолетних трав.

Расчет расстояний между стокорегулирующими лесополосами можно проводить по формуле

$$l = \frac{v^3}{(0,015m)^3 I_{10} C b i}, \text{ м}$$

где  $v$  - допустимая неразмывающая скорость стекания воды, м/с,  $m$  - коэффициент шероховатости поверхности почвы,  $I_{10}$  - интенсивность ливня 10%-обеспеченности, мм/мин,  $C$  - коэффициент поверхностного стока,  $b$  - средняя ширина водосборов сети промоин на склоне, м,  $i$  - средний уклон склона.

В.М.Ивонин (1992) также предложил зависимости для расчета расстояний между лесополосами:

$$L_{лп}' = \frac{v^2 K_{лп}}{m^2 C \sigma x K_{фпс}},$$

$$L_{лп}'' = Mg \frac{\cos \beta a N}{1 + ai},$$

где  $L_{лп}'$  и  $L_{лп}''$  - расстояние на склонах между лесополосами с гидротехническими сооружениями при условии, соответственно недопущения усиления эрозии и достижения максимальной продуктивности культурных фитоценозов, м,  $v$  - неразмывающая скорость воды для зяби, м/с,  $K_{лп}$  и  $K_{фпс}$  - коэффициенты, соответственно, мелиоративного влияния лесополосы и формы профиля склона,  $m$  и  $\sigma$  - коэффициенты соответственно, изборожденности склона ложбинами и стока,  $C$  - коэффициент уклона и шероховатости,  $x$  - интенсивность ливня, м/с,  $Mg$  - коэффициент, учитывающий двухстороннее влияние лесополосы вверх и вниз по склону,  $\beta$  - угол отклонения направления ветра от перпендикуляра к лесной полосе, град.,  $a$  - коэффициент по А.С.Козьменко = 20,  $i$  - уклон. Среднее значение  $Mg=1,5$ ,  $K_{лп} = 1,07$ ,  $m = 1,5$  - для склона с отдельными слабовыраженными ложбинами,  $K_{фпс} = 1$  - для прямой формы профиля склона.

При уклонах 0,0349 – 0,1392,  $Mg = 1,5$ , и  $\cos \beta=1$ ,  $a =20$

$$C = 30\sqrt{i}$$

где  $N$  - высота лесной полосы, м.

Применение любых мероприятий постоянного действия (лесополос, гидротехнических сооружений) должно проводиться после тщательного анализа возможных результатов воздействия на рельеф, так как замечено (А.И. Скоморохов, Т.Е. Калужная, 1980 и др.) земляные валы и канавы ломают относительно отлаженную систему водоотводящих ложбин и в результате начинается интенсивная перестройка рельефа.

Эрозию почв подразделяют на нормальную и ускоренную, (М.Н.Заславский, 1984) нормальной (естественной) эрозией считается эрозия, когда смыв не превышает темпов почвообразования. Она подчиняется известным законам природы - геологическому и биологическому круговоротам и в конечном итоге направлена на переформирование поверхности суши (А.М.Бурыкин, 1986). Ускоренная эрозия возникает в результате хозяйственной деятельности человека и приводит к нарушению баланса между темпами эрозии и темпами почвообразования с преобладанием первых над вторыми. Потери почвы при хозяйственной деятельности в какой-то степени неизбежны, поэтому и был поставлен вопрос о допустимой величине этих потерь.

В настоящее время существует множество методов оценки допустимого смыва. З.В.Пацукевич с соавторами (1997) провели анализ существующих методов оценки и пришли к выводу, что, в общем, различные методы дают приблизительно одинаковые оценки.

Е.В. Полуэктов и Е.В.Грызлов (1979) указывают, что отношение прироста почвы в результате естественного почвообразовательного процесса к размерам её эрозии должно быть критерием оценки почвозащитных мероприятий. Если это отношение равно единице или больше её - можно считать, что задача защиты почв решена, если меньше единицы, то идет разрушение почв.

Ц.Е.Мирцхулава (1989) предложил определять допустимую интенсивность эрозии  $I_{доп}$  (мм/год) по выражению:

$$I_{доп} = \frac{N_o - N_d}{S_p} = \frac{N_{оэ}}{S_p},$$

где  $N_{оэ}$  - эффективная мощность почвенного покрова (мм);  $S_p$  - срок службы почвенного покрова (лет);  $N_o$  - полная первоначальная мощность почвенного покрова;  $N_d$  - предельно допустимая мощность почвы (достаточная для произрастания растений и для работы сельскохозяйственных машин и механизмов).

Индекс допустимой интенсивности эрозии:

$$i_э = I_f / I_d,$$

где  $I_f$  - фактическая интенсивность эрозии (мм/год);  $I_d$  - предельно допустимая интенсивность эрозии (мм/год).

При  $i_э \geq 1$  - интенсивность эрозии не выходит за рамки допустимой.

И.В.Якимова (1988) предложила зависимость для определения среднегодовых потерь почвы на основе измерения концентрации цезия-137:

$$\Delta h = (1 - X^{1/n})H,$$

где  $\Delta h$  - среднегодовалый слой потери почвы, в см;  $H$  - мощность пахотного слоя, в см;  $n$  - количество лет,  $X$  - концентрация цезия -137 в долях от эталона в исследуемом образце почвы.

Булыгин С.Ю. с соавторами (1992) считают, что этот метод дает объективную информацию о среднегодовалых темпах эродирования почвенного покрова за последние 30-35 лет.

Величины допустимого смыва в зависимости от степени смытости для различных типов почв приводятся многими авторами, к примеру, табл.4.27.

**Таблица 4.27.** Величина допустимого смыва почв (т/га) (по "Методические указания..." , 1989)

Почвы	Несмытые	Средне-смытые	Сильно-смытые
Дерново-подзолистые серые и светло-серые лесные	2,0	1,5	1,0
Темно-серые лесные, бурые лесные, черноземы выщелоченные, черноземы обыкновенные	2,5	2,0	1,5
Черноземы мощные, типичные	3,0	2,5	2,0
Черноземы южные, темно-каштановые и коричневые почвы	2,0	1,5	1,0
Каштановые и светло-каштановые, бурые полупустынные, сероземы	1,5	1,0	0,5

**Оптимизация эрозионно и экологически опасных ситуаций на склонах.** Многие процессы в природе имеют периодические циклы и скачкообразные переходы между смежными фазами развития. Эти характеристики вполне соответствуют особенностям функционирования ландшафтов на сельскохозяйственных землях, что затрудняет их рациональное использование и охрану. Поэтому целесообразно создание системы прогнозирования эрозионно и экологически опасных ситуаций на склонах, т.е. определение мест на склоне, где возможны наиболее критические изменения параметров системы. С этой целью необходимо решить ряд вопросов, в том числе: 1) оценить энергетический и гидрохимический потенциал склоновых водотоков; 2) смоделировать миграцию веществ на склоне; 3) определить границы агрессивного воздействия водных растворов на почвы; 4) научиться прогнозировать места на склоне, где наиболее вероятен размыв почвы.

Миграция веществ с поверхностным стоком на склонах определяет особенности экологического состояния расположенных ниже территорий, плодородие почв на склонах, устойчивость и эффективность функционирования различных сооружений на склоне и водосборе в целом. При моделировании процесса важно не только определить возможное количество веществ смываемых со склонов, но и установить границы агрессивного состава вод для данных почвенно-климатических условий, уметь определять места на склоне где химические характеристики превышают экологические нормы или обеспечивают потоку агрессивные свойства.

При талом стоке максимальная мутность и размыв почвы отмечаются, в основном, при минимальном содержании растворенных веществ в воде склоновых водотоков, однако, начиная с определенного содержания веществ при увеличении минерализации воды размыв и мутность опять возрастают. Это означает наличие двух механизмов химического влияния в воде водотока. При низкой минерализации воды химическое воздействие воды на ложе ручейка проявляется, в основном, в виде реакций, связанных с гидролизом. В результате

чего в кристаллической решетке минералов катионы металлов замещаются на ионы водорода. Повышение содержания веществ в воде изменяет ее структуру (обмен между ближайшими молекулами происходит медленнее, чем в чистой воде). На границе раздела вода-порода возникают дополнительные напряжения, которые приводят к разрушению породы, здесь имеет место: гидратация, разогрев и рост кристаллов. В обоих случаях наблюдается ослабление сцепления между почвенными частичками и их роздробление, что облегчает механическое воздействие потока воды на дно ручейка и способствует более интенсивному смыву частиц. М. Лидер (1986) также, указывает на наличие нескольких механизмов влияния воды при выветривании горных пород. Второй механизм воздействия наиболее характерен для стока при орошении, так как минерализация воды здесь выше.

Результаты исследований позволяют сделать следующий вывод: эрозия почв является не только механическим процессом разрушения почв, но также и химическим процессом разъедания почвы водой. Причем, для приводораздельных элементов рельефа химическая составляющая может быть значимее механической, что должно быть учтено при проектировании сооружений на склонах с целью повышения, как устойчивости почв, так и сооружений.

При ливневом стоке, как и при стоке, формирующемся при снеготаянии и орошении, размыв почвы во многом определяется содержанием веществ в воде водотока. По длине склона состав воды претерпевает изменения, способствующие изменению эродирующей способности водотока. Состав атмосферных осадков в большей степени влияет на состав воды в склоновом водотоке, чем состав почвенного покрова.

Как при поливе дождеванием, так и при поливе напуском состав воды в водотоке существенно влияет на размыв, влияние же состава оросительной воды и водной вытяжки из почвы выражено слабее. Несмотря на высокую взаимозависимость содержания элементов в воде водотока, модели, включающие дополнительно гидродинамические характеристики показывают большую адекватность исходным данным. Получены некоторые критические дозы содержания веществ в воде склоновых водотоков, формирующихся при орошении. Причем, критические границы содержания веществ для стока при дождевании и при орошении напуском практически совпадают. К примеру, содержание нитратов в воде водотоков обоих видов стока было практически одинаковым, максимальный размыв при дождевании отмечается в диапазоне содержания  $\text{NO}_3^-$  19,98-41,9 мг/дм<sup>3</sup>, а при орошении напуском – при 31,56-34,24 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание сульфатов в воде водотоков, формирующихся при орошении напуском, достигало 355 мг/дм<sup>3</sup> и с увеличением содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  размыв здесь увеличивался, при дождевании же содержание сульфатов достигало 561,6 мг/дм<sup>3</sup>, и максимальный размыв наблюдался при 525,6 мг/дм<sup>3</sup>, до этого значения максимальный размыв также увеличивается, а затем уменьшается. Интересно, что в работе (Б.Л.Рейзин и др., 1976) при исследовании коррозии металлов при интенсивном перемешивании показано, что в интервале содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  50-500 мг/дм<sup>3</sup> количество продуктов



коррозии возрастает, дальнейшее увеличение концентрации  $\text{SO}_4^{2-}$  приводит к незначительному увеличению продуктов коррозии.

Критические величины содержания веществ в склоновых водотоках различного происхождения представлены в табл.4.28-4.31. Количественный состав растворенных веществ в водотоках различен, поэтому критические величины содержания веществ также отличаются для стока различного происхождения в силу наличия нескольких механизмов химического воздействия воды на почвы (о чем говорилось выше). Наиболее различны между собой критические величины для стока при орошении и талого стока, критические величины для ливневого стока занимают промежуточное положение. Для одних веществ они ближе к талому стоку (как например для  $\text{HCO}_3^-$ ) для других – к стоку при орошении (к примеру  $\text{NO}_3^-$ ). Имея уравнения зависимости изменения содержания химических веществ по длине склона (см.гл.4.3) по таблицам критических величин содержания веществ можно определить в каком месте на склоне влияние химической составляющей на размыв максимально.

Проведенные исследования (С.В.Будник, 2002, 2004 и др.) показали значительную изменчивость гидродинамических характеристик в склоновых водотоках, диапазон их изменения значительно превосходит те же величины для рек. К примеру, диссипация энергии в склоновых водотоках превосходит те же величины для рек на несколько порядков, что говорит о более интенсивном переходе механической энергии в тепловую. Вероятно, этот факт сказался и на варьировании гидрохимических характеристик в склоновых водотоках. Проведенные исследования показали значительную и изменчивость и зависимость от гидродинамических характеристик. К примеру, величина рН воды в створе водотока может варьировать в пределах 1-1,5 единицы, а по длине склона на 2 и более единицы.

Зависимости, характеризующие содержание различных элементов, в воде водотоков изменяются, как для различных элементов, агрофонов, почвенных разностей, так и для различных условий формирования стока. В целом же моделирование миграции веществ в склоновых водотоках возможно лишь в интервале проведенных измерений, т.к. данный процесс как ни какой другой характеризует закон перехода количественных изменений в качественные. При достижении отдельными факторами определенных уровней изменяется форма, направленность и точность моделей.

Исследование зависимостей мутности воды от определяющих факторов показало, что при включении в состав моделей характеристик химического состава воды точность моделей повышается. Перебор 36 факторов показал, что зачастую наиболее адекватными оказывались модели, состоящие как из гидрохимических, так и гидродинамических характеристик, чем модели, содержащие только гидродинамические характеристики.

Тоже можно сказать и о зависимостях, характеризующих максимальную глубину воды в водотоках. Здесь, как оказалось, влияние температуры воды, гранулометрического состава почвы, величины турбулентного трения проявляется в разных частях склона, в то время как роль химической

**Таблица 4.28.** Критические величины содержания веществ в воде склоновых водотоков (max –при максимальном содержании веществ; min- при минимальном содержании веществ). Талый сток

Показатель, относительно которого данное содержание веществ критично	Характеристика	Обеспечивается максимум показателя	Обеспечивается минимум показателя
Максимальная глубина воды, м	pH	7-7,7	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	74,6	
	Cl, мг/дм <sup>3</sup>	7,29-11,16	19,0
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	min
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4-28	30-35
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-3,77	6,33-9,36
	K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,5-2,1	7,0; max
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	5,03	9,1-11,55
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1,5-3,5	min
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	0,118	
Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	pH	7,3-8,5	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	62,6-119,7	min; 12,2
	Cl, мг/дм <sup>3</sup>	11,15-13,7; 17,5-22,5	3,5; 15,38; 26,4
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	15,97	min
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	20-30; 45	10;34-35
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,3-1,8; 7,09-10,1; 16,14	4,07; 12,37
	K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1,5-3	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	7,5-14,0	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-1;1,8;3,5	1,3-1,4;2,5-3
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	0,141-0,234	max

**Таблица 4.29.** Критические величины содержания веществ в воде склоновых водотоков (max –при максимальном содержании веществ; min- при минимальном содержании веществ). Ливни

Показатель, относительно которого данное содержание веществ критично	Характеристика	Обеспечивается максимум показателя	Обеспечивается минимум показателя
Максимальная глубина воды, м	pH	6,4-6,6;7,5-8,0; max =7,7	min, max, 6,8
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	110	
	Cl, мг/дм <sup>3</sup>	15-40, max=35,0	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	73-110; max=95,0	
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-80,max=63	
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-38,max=23	max
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	4,4-43, max=38	55-80
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	49,2	max
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	min	max
	Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	0,42-0,46	
Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	pH	7,8; 6,5-8	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	90-135; max=110	0; 140
	Cl, мг/дм <sup>3</sup>	30-50; max=36	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	95	min; 18-22
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	20-110; max=67	
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-32; max=23	
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	20-40; max=37,4	
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	43,8	Max
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	Min
	Сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	0,44	

**Таблица 4.30.** Критические величины содержания веществ в воде склоновых водотоков (max –при максимальном содержании веществ; min- при минимальном содержании веществ).  
Орошение «Волжанка»

Показатель, относительно которого данное содержание веществ критично	Характеристика	Обеспечивается максимум показателя	Обеспечивается минимум показателя
Максимальная глубина воды, м	pH	7,68	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	240-250	
	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	266, max (292)	
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	525,6	430-450
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	80-90	60-70
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	130-150
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	19,98-41,9	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,35-0,45	
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	max	
Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	pH	7,4-7,5;8,3-8,4	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	230-250	
	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	247; max	266
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	525,6	
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	163-175	
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	84-87	
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	25-35; 190-200; max	70-80
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	25,1;64,0	
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,21; max	0,4-0,5
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	1,1; 1,54	1,28-1,32

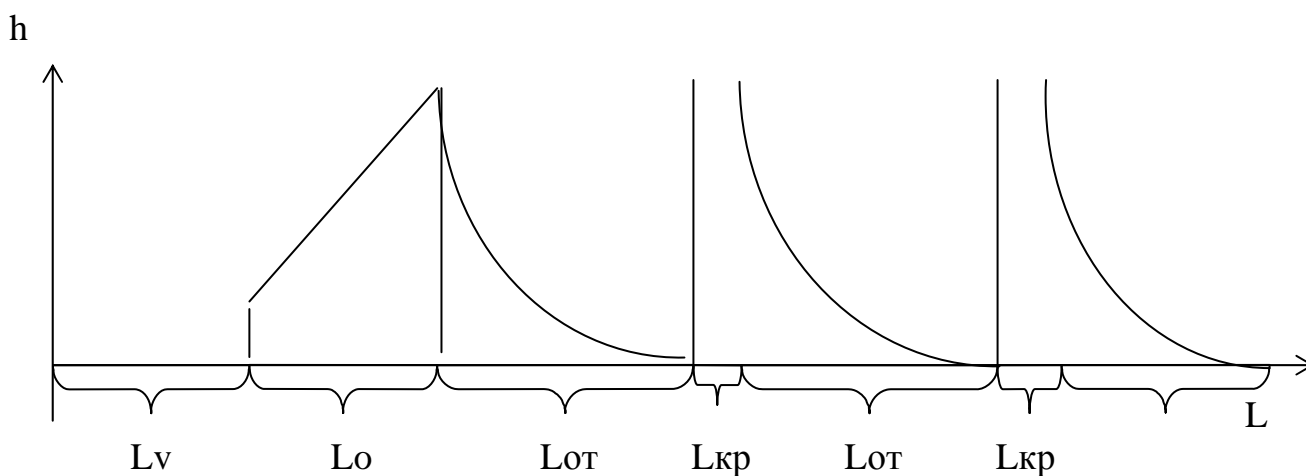
**Таблица 4.31.** Критические величины содержания веществ в воде склоновых водотоков (max –при максимальном содержании веществ; min- при минимальном содержании веществ).  
Орошение напуском

Показатель, относительно которого данное содержание веществ критично	Характеристика	Обеспечивается максимум показателя	Обеспечивается минимум показателя
Максимальная глубина воды, м	pH	max	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	188,42	
	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	270	min
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0-250	
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	60; max	
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	min
	K <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	34,24	max
	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>		
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	1,6; max	min
Мутность воды, г/м <sup>3</sup>	pH	8,17-8,40	
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	min
	Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	275-290	min
	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	180-230	280-300
	Ca <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	min
	Mg <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	82-97	
	Na <sup>+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	max	min
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	26-31,56	
	сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	max	min

составляющей с увеличением длины склона уменьшается, а динамической растет.

Наиболее неожиданным оказалось влияние на максимальную глубину воды в водотоке содержания натрия и калия в воде. Однако, если учесть высокую пептизирующую способность этих ионов, то данный факт представляется вполне закономерным.

В результате анализа, как литературных источников, так и материалов наблюдений предложена схема дифференциации склона по характеру эрозионных форм и факторам определяющих размыв (рис.4.3). Согласно которой процесс размыва склона можно разбить на несколько зон - это 1) зона концентрации стока, здесь размывов не наблюдается, 2) зона начала размыва,



**Рис.4.3. Идеальная схема размыва склона водотоком по длине.**  
( $h$  – глубина размыва,  $L$  – длина склона от водораздела)

здесь наблюдается постепенное увеличение глубины размоины по длине склона, 3) зона отложения наносов, здесь размывов не наблюдается, 4) зона критического размыва, здесь происходит катастрофический размыв грунта. За зоной критического размыва идет чередование зоны отложения наносов и зоны критического размыва. Границы зон динамичны и зависят от условий формирования стока.

Проведенные исследования показывают, что в зоне начала размыва преимущественное влияние на размыв оказывает химическая составляющая, в зоне отложения наносов – динамическая. Для зоны критического размыва пока что можем констатировать значительное увеличение мутности воды и сухого остатка, уменьшение рН воды и изменение содержания практически всех элементов в воде.

Поведенные исследования позволяют рекомендовать дополнить существующую систему проектирования противоэрозионных сооружений на склонах в системе организации территории землепользования следующими положениями (С.В.Будник, 2002):

1. Размещение первого сооружения и последующих на склоне необходимо проектировать выше места концентрации стока, а не на нем как это делается сейчас. Поскольку в этом месте наиболее вероятен размыв грунта.

2. Расстояния между сооружениями необходимо назначать с учетом химического состава воды, так как на коротких участках склона, которые создаются при строительстве сооружений химическая составляющая более значима.

3. Необходимо учитывать планируемый на данной территории севооборот и соответствующую ему систему удобрений, т.к. внесение удобрений способствует повышению выщелачивания веществ и будет влиять на устойчивость сооружений.

4. Чередование агрофонов на склоне должно соответствовать допустимому изменению гидродинамических характеристик водотоков, так чтобы переход от одного агрофона к другому не сопровождался усилением энергетической активности водотоков.

К стокорегулирующим рубежам относят границы полей севооборотов, водозадерживающие и водоотводящие валы, валы-канавы, террасы и лесные полосы.

В существующих рекомендациях расстояния между стокорегулирующими рубежами определяются в зависимости от скоростей стекания или объема стока (В.А.Белолипский и др., 1990 и др.) и в зависимости от объема смываемой почвы со склонов (Инструкция ..., 1979; Указания по проектированию..., 1977). Последний способ считается (И.К.Срибный, В.А.Вергунов, 1990) наиболее обоснованным, т.к. позволяет сразу оценивать результаты почвозащитной системы земледелия и эффективность различных мероприятий.

Расчеты ведутся либо путем определения расстояния, при котором смыв почвы превышает допустимый, либо путем сравнения объема стока с объемом воды который способно задержать планируемое сооружение. Однако можно использовать и такой показатель как глубина размыва. Так, согласно выдвинутым ранее требованиям (С.В.Будник, 2002 и др.) первое сооружение от водораздела должно быть расположено выше места начала концентрации стока, где размыва нет. Для решения данной задачи необходимо, прежде всего, разбить склон на соответствующие зоны и провести расчет их границ. Ранее частично схема и алгоритм решения приводились в работах (С.В.Будник, 2005 и др.).

Для прогнозирования мест на склоне где наиболее вероятен размыв почвы, целесообразно воспользоваться методами оптимизации (математического программирования). В качестве целевой функции можно принять продольную площадь размыва склона состоящей из отрезков выше перечисленных зон. При её оптимизации на максимум определяются места на склоне, где будет наблюдаться интенсивный размыв почвы. При её оптимизации на минимум определяются места на склоне, где размывов не будет. Тогда продольная площадь размыва ( $W$ ) будет определяться целевой функцией:

$$W = C_1 L_v + C_2 L_o + C_3 L_{ot} + n(C_4 L_{кр} + C_5 L_{ot}) \rightarrow \min (\max).$$

Система ограничений включает следующие уравнения:

- 1) Ограничение по длине склона:  

$$L_v + L_o + L_{ot} + n(L_{кр} + L_{ot}) = L_s.$$
- 2) Ограничение по глубине базиса эрозии:  

$$L_v + C_2 L_o + C_3 L_{ot} + n(C_4 L_{кр} + C_5 L_{ot}) \leq H L_s;$$
- 3)  $C_1 = 0$  ; 4)  $0 \leq C_2 \leq h_{m1}$  ; 5)  $0 \leq C_3 \leq h_{m1}$  ; 6)  $C_4 = h_{m2}$  ; 7)  $0 \leq C_5 \leq h_{m2}$  .
- 8) Ограничение по транспортирующей способности потока

$$C_4 L_{кр} - C_5 L_{ot} \approx 0,$$

где  $C_i$  – коэффициенты, по физическому смыслу соответствующие осредненной максимальной глубине размыва на участке;  $n$  – число периодов чередования зон критического размыва и отложения наносов. зависит от длины склона, количества и интенсивности осадков, агрофона и т.п;  $L_s$  – длина склона;  $H$  – падение склона;  $h_{m1}$  – максимальная глубина размыва в зоне, соответствующей начальной длине размыва, переменная величина, зависящая от химического состава воды, динамики потока, характеристик подстилающей поверхности и др.;  $h_{m2}$  – максимальная величина размыва в зоне критического размыва, также переменная величина, зависящая от динамики потока, гранулометрического состава почвы, химического состава воды и др.

Данная система уравнений содержит 3 неизвестных, определяемых эмпирическим путем ( $n, h_{m1}, h_{m2}$ ).

В частности, число периодов можно определить по следующей формуле:

$$n = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5;$$

$$X_1 = 10,04 + 7,52 \cdot 10^{-7} L_s^{3,0};$$

$$X_2 = 1,078 I_{\min} / (0,01166 + I_{\min});$$

$$X_3 = 1,179 - 0,001916 T_{nn}^{3,0};$$

$$X_4 = 0,8378 + 0,0004172 I_{\max} + 222,9 / I_{\max}^2;$$

$$X_5 = 0,9771 + 0,00922 af,$$

где  $I_{\max}$  – максимальный уклон на склоне, ‰;  $I_{\min}$  – минимальный уклон на склоне, ‰,  $T_{nn}$  – разновидность почвогрунтов (3-чернозем обыкновенный на лессе, 5 - чернозем обыкновенный на мергеле, 4-чернозем обыкновенный на песках, 6- мергели);  $af$  – агрофон (1 – пар (зябь, для снеготаяния), 4 – естественное кормовое угодье, многолетние травы).

$$E = 3,003 \% ; E_1 = 0,117 ; r = 0,999 ; s/\sigma = 0,049.$$

Для предупреждения экологически опасных ситуаций на склоне при определении мест на склоне, где возможно накопление или выщелачивание веществ можно также воспользоваться приведенной выше схемой оптимизации. Задача оптимизации может звучать следующим образом: оптимизируется распределение объема солей по длине склона. Тогда в качестве коэффициентов можно принять сумму ионов на соответствующем отрезке склона. В системе ограничений здесь необходимо учесть несколько составляющих: 1) допустимые нормы выноса загрязняющих веществ с сельхозугодий, 2) критические величины содержания веществ в воде водотоков относительно разрушения поверхности склонов, 3) наличие не менее чем двух механизмов химического влияния воды на поверхности. То есть, если при оптимизации состава воды, стекающего со склона в водоемы и реки относительно загрязняющих веществ (азот, фосфор, калий и др.) необходимо

целевую функцию направлять на минимум, то при учете влияния состава воды на эрозионные процессы необходимо иметь ввиду, что в некоторых случаях именно увеличение содержания соединений в воде водотока способствует уменьшению разрушения почвы. Например, при ливнях максимальная глубина воды минимальна при максимальном содержании нитратов и аммония. Все зависит от общего диапазона содержания веществ в воде водотоков, что может сформироваться на данной почве и агрофоне при данных условиях формирования стока. В общем, минимальная минерализация наблюдается при талом стоке и в данном случае именно увеличение содержания большинства соединений способствует увеличению разрушения поверхности водосбора. При ливнях минерализация воды несколько выше и не всегда увеличение содержания веществ способствует разрушению поверхности, а наоборот. При орошении минерализация на порядок больше чем минерализация воды в стоке естественного происхождения, здесь, как правило, повышение содержания соединений способствует повышению разрушения почвы. То есть, в целом, при изучении талого стока и стока при орошении постановка вопроса о минимизации содержания веществ в воде склоновых водотоков в принципе может иметь место, в то время как для ливневого стока необходимо рассматривать каждый случай отдельно.

Уточнение системы проектирования противоэрозионных сооружений на склонах позволит как улучшить их устойчивость на склонах, так и решить часть вопросов экологического характера. Будет способствовать общему увеличению стабильности агроландшафтных комплексов на склонах и увеличению их продуктивности.

Для определения соотношений угодий в пределах балочных водосборов по регулированию поверхностного стока и снижению смыва почвы до допустимых зональных значений с учетом различной крутизны склонов, можно использовать выражение с ограничением по допустимому средневзвешенному смыву почвы (И.П.Здоровцов и др., 2007):

$$P_1d_1+P_2d_2+P_3d_3+P_4d_4+ \dots + P_nd_n \leq D_{\text{доп}}, \text{ т/га.}$$

где  $P_1$  – удельная масса зяби, %;  $P_2$  – удельная масса озимых, %;  $P_3$  – удельная масса многолетних трав, %;  $P_4$  – удельная масса пастбищ, %;  $P_5$  – удельная масса лесных полос и леса, %;  $d_{1, 2, 3, 4 \dots n}$  - фактический смыв от поверхностного стока, т/га;  $D_{\text{доп}}$  – допустимый средневзвешенный смыв почвы, т/га.

#### **4.4.3. Миграционные процессы и геохимические барьеры.**

**Геохимические барьеры.** Геохимические барьеры представляют собой участки ландшафтно-геохимических систем, где резкая смена условий миграции приводит к осаждению и накоплению химических элементов.

Термин и основные положения теории ландшафтно-геохимических барьеров разработал А.И.Перельман.

Согласно генетической классификации все геохимические барьеры подразделяют на следующие типы (В.А.Алексеев, Л.П.Алексеев, 2003, В.А.Алексеев, 2005 и др.):

1. Природные.
2. Техногенные.
3. Техногенно-природные.

Все они размещаются на участках смены факторов миграции.

В первом случае смена факторов, а соответственно и смена одной геохимической обстановки другой обусловлена природными особенностями конкретного участка биосферы.

Во втором случае – такое изменение геохимических обстановок происходит в результате антропогенной деятельности.

В третьем случае – антропогенная смена геохимической обстановки является толчком к образованию природных геохимических барьеров. Происходит наложение на техногенные барьеры природных.

Выделенные типы барьеров подразделяют на классы:

- 1) физико-химические;
- 2) механические;
- 3) биогеохимические;
- 4) социальные;
- 5) комплексные.

Образование физико-химических барьеров связано со сменой физико-химической обстановки. До настоящего времени детальная классификация разработана только для данного класса барьеров, а точнее для случая осаждения химических элементов, мигрирующих в ионной форме в водах с различными окислительно-восстановительными и щелочно-кислотными условиями. Выделяют следующие подклассы физико-химических барьеров:

- 1) кислый в окислительной среде – на нем накапливаются: свинец, арсен (мишьяк), селен, марганец (марганец), молибден, никель, ванадий;
- 2) кислый в восстановительной среде – арсен, селен, свинец, кадмий, ртуть, молибден, ванадий, никель, медь, цинк, кобальт;
- 3) щелочной в окислительной среде – свинец, кадмий, ртуть, стронций, марганец, магний, цинк, медь, молибден;
- 4) щелочной в восстановительной среде – свинец, стронций, арсен, цинк, медь, никель, кобальт;
- 5) глеевый – селен, арсен, уран, ванадий, никель, медь;
- 6) сорбционный – арсен, цезий, стронций, фосфор, сера, молибден, ванадий, медь;
- 7) механический – кадмий, стронций, свинец, цезий, ртуть, медь, никель, цинк;
- 8) испарительный – селен, арсен, цезий, натрий, хлор, цинк, магний.

В разных геосистемах количество и состав ландшафтно-геохимических барьеров неодинаково. Так, в лесных геосистемах Украины преимущественно наблюдаются кислые и глеевые барьеры, в степных – щелочные и испарительные и т.п.

Механические барьеры – это участки резкого уменьшения интенсивности механической миграции. Они, в основном, связаны со вторым типом миграции химических элементов, когда форма их поступления не изменяется, но они



перемещаются в пространстве. Перемещение происходит, как правило, в границах биосферы – прежде всего с поступлением элементов в минеральной или коллоидной форме. Всего выделяют 10 подклассов механических барьеров: 5 – для веществ перемещающихся в водных потоках и 5 для веществ перемещающихся в газовых смесях. Выделены следующие 5 форм, в которых, химические элементы могут находиться в миграционном потоке поступающем на механический барьер:

- 1) минералы и изоморфные примеси, содержащиеся в минералах;
- 2) растворенные газовые смеси и пары;
- 3) коллоиды и сорбированные ими вещества;
- 4) животные и растительные организмы;
- 5) техногенные соединения, в том числе и те, что не имеют природных аналогов.

Биогеохимические барьеры в отличие от других, связаны в основном, с первым типом миграции химических соединений, когда изменяется их форма поступления без значительного перемещения в пространстве. Эти барьеры представляют собой накопление химических соединений растительными и животными организмами. Так образуются месторождения полезных ископаемых. Здесь выделяют по характеру живой материи: 1) фитобиогеохимические барьеры; 2) зообиогеохимические барьеры. По характеру действия выделяют: нейтрализационные (осадительные) и поглощающие.

В типе техногенных барьеров дополнительно выделяют такой класс как класс социальных барьеров. Здесь объединяются зоны складирования и захоронения отходов, как промышленных, так и бытовых. Выделяют следующие подклассы барьеров:

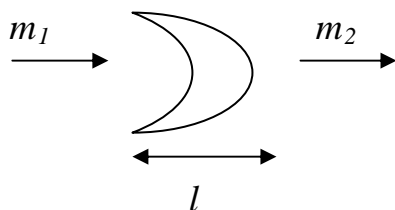
- 1) бытовые;
- 2) строительные;
- 3) промышленные;
- 4) смешанные (зоны складирования разных отходов (свалки)).

Комплексный геохимический барьер представляет собой наложение друг на друга (как правило, без совмещения границ) нескольких классов геохимических барьеров. Как правило, накладывающиеся друг на друга барьеры генетически связаны между собой.

Геохимические барьеры классифицируют также по ряду других принципов, что непосредственно не связаны с их генезисом. Так, по форме различают 1) линейные и 2) площадные барьеры. По размерам выделяют 1) макро (от нескольких тысяч до сотен метров); 2) мезо (от первых метров до тысяч метров); 3) микробарьеры (от долей миллиметра до первых метров). По направлению движения выделяют 1) односторонние (поток к барьеру движется в одном направлении); и 2) двусторонние (потоки движутся к одному барьеру с разных сторон).

К количественным характеристикам геохимических барьеров относят (рис.4.4):

- 1) градиент барьера



**Рис.4.4. Параметры геохимических барьеров**

$$G = \frac{dm}{dl} = \frac{m_1 - m_2}{l},$$

где  $m_1$  – показатель смены геохимической обстановки до барьера, это может быть рН, температура, окислительно-восстановительный потенциал,  $O_2$ ,  $H_4S$  и т.п.;  $m_2$  – то же за барьером;  $l$  – мощность барьера (ширина).

2) контрастность барьера:

$$S = m_1/m_2.$$

Контрастность геохимической аномалии:

$$K = C_a/C_f,$$

где  $C_a$  – среднее содержание компонента в аномалии;  $C_f$  – фоновое содержание элемента в ландшафте.

Концентрация элементов на барьере ( $h$ ):

$$h = K \frac{C_1 - C_2}{a_1 - a_2}$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от почв, осадков и т.п. от инертной массы на которой образуется барьер;  $C_1$  – содержание рассматриваемого вещества в миграционном потоке до барьера;  $C_2$  – то же за барьером;  $a_1$  – общее содержание всех веществ, мигрирующих в потоке до барьера и  $a_2$  – за барьером.

**Обоснование и размещение биогеохимических барьеров** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). Миграция основных биогенов ( $N$ ,  $P$ ,  $K$ ) за пределы геосистем происходит главным образом через отчуждение биомассы (урожая). В условиях сезоннопромывного режима большинство макроэлементов с пахотных почв выносятся за пределы геосистем преимущественно водными потоками (поверхностным и грунтовым), следствием чего является загрязнение водных объектов.

Снижение уровня загрязнения водоемов возможно лишь путем прекращения поступления в них биогенных элементов. Это достигается либо за счет снижения концентрации биогенных элементов в стоковых водах, либо путем уменьшения поступления в водоемы поверхностного стока. И первое, и второе можно осуществить перехватом поверхностного и подземного стока биогеохимическими барьерами, например, лесными насаждениями или осушительной системой, или специальными сооружениями, собирающими, транспортирующими и концентрирующими сток около биологических утилизаторов.

Из сказанного выше можно сделать вывод, что для предотвращения загрязнения окружающей среды необходимо создание искусственных

геохимических барьеров. А для введения биогенов в биологический круговорот необходимо наличие биологического концентратора (в первую очередь, растения), таким образом, барьер становится биогеохимическим. Функционирование его интенсифицируется при оптимизации водного, теплового и пищевого режимов почв.

Для разработки принципов проектирования искусственных биогеохимических барьеров целесообразно применить ландшафтный подход и использовать такие классификации ландшафтов, которые наиболее подходят для данного случая. Представляется, что можно использовать классификацию Глазовской – Полынова (М.А.Глазовская, 1962), которые классифицируют ландшафты по типам геохимических сопряжений (А.И.Голованов и др., 2004).

По Б.Б. Полынову выделяются следующие группы ландшафтов: элювиальный, супераквальный, субаквальный. На рис. 4.5 выделены три типа ландшафтов, которые для зоны осушения хорошо корреспондируются с типами водного питания.

Элювиальный ландшафт формируется при атмосферном типе водного питания, трансэлювиальный – при склоновом, а супераквальный (гидроморфный) – при грунтовом.

Фундаментальная зависимость между типами ландшафтов и типами водного питания подтверждается и связями между элементарными ландшафтами (рис.4.6).

Элементарные ландшафты, распределяясь с учетом рельефа (рис.4.7), позволяют еще более дифференцировать их по условиям миграции водно-химического потока.

В элювиальной группе ландшафтов выделяются четыре типа миграции геохимических элементов: элювиальный (плоские вершины, хорошо дренированные равнины); трансэлювиальные (верхние части склонов); элювиально-аккумулятивные (нижние части склонов и сухие ложбины); аккумулятивно-элювиальные (местные замкнутые понижения с глубоким уровнем грунтовых вод). В супераквальной группе ландшафтов выделяются два типа миграции химических элементов: трансупераквальные (трансгидроморфные); супераквальные (замкнутые понижения со слабым водообменом).

В субаквальной группе ландшафтов также выделяются два типа миграции химических элементов: трансаквальный (реки, проточные озера); аквальный (непроточные озера). Наиболее ярко связь между ландшафтами и типом водного питания проявляется при анализе вертикальных профилей содержания химических элементов в почвах разных элементов ландшафтов.

На рис. 4.8 и 4.9 показано распределение свинца и меди по ландшафтному профилю.



Рис 4.5. Схема элементарных ландшафтов (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)

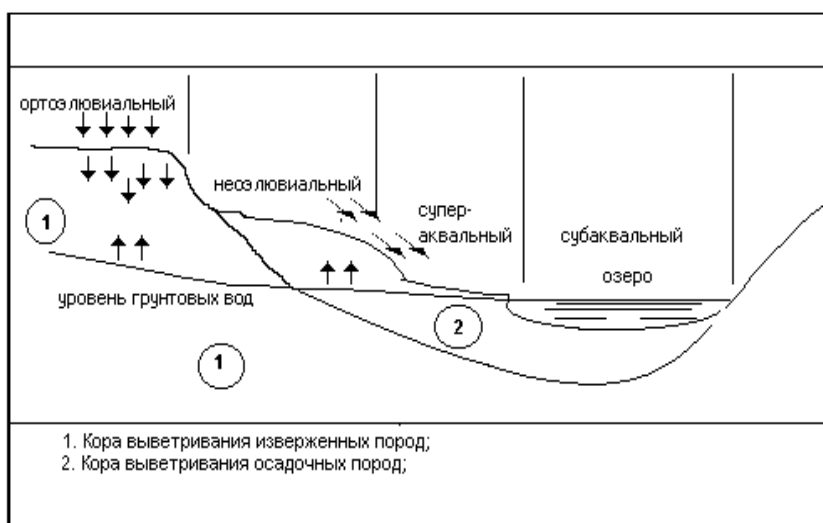


Рис 4.6. Взаимосвязи элементарных ландшафтов (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)

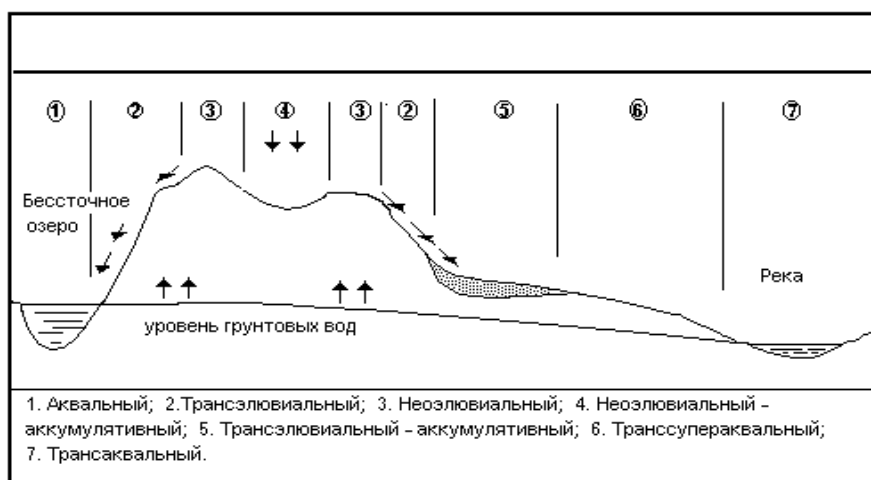


Рис. 4.7. Схема распределения элементарных ландшафтов по рельефу (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)

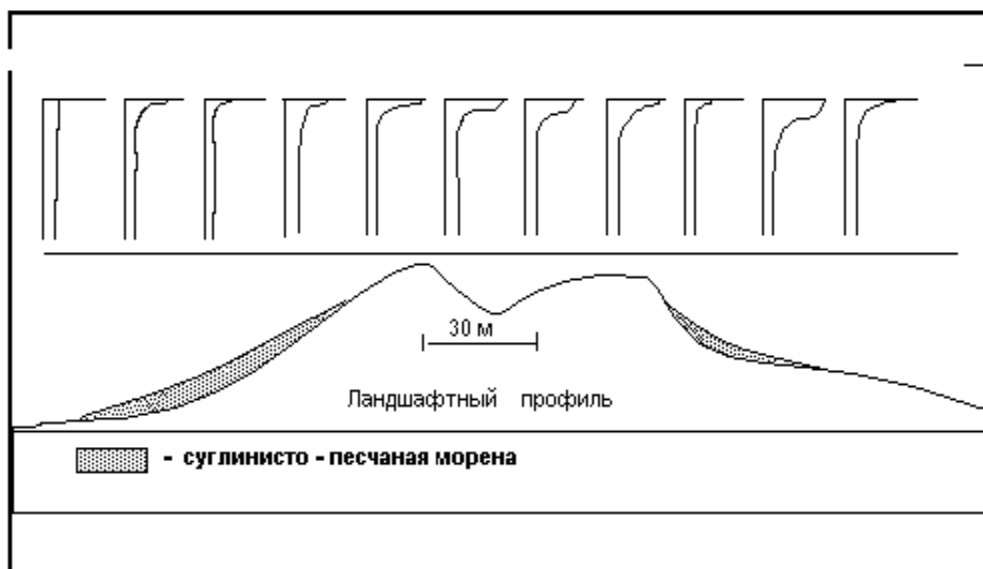


Рис.4.8. Вертикальные профили содержания свинца в почвах (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)

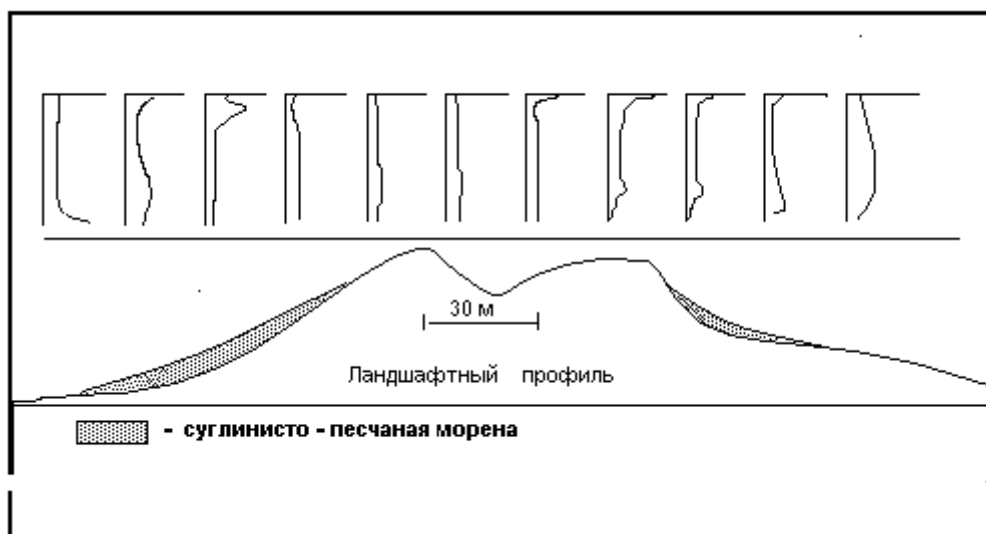


Рис.4.9. Вертикальные профили содержания меди в почвах (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)

Анализ данных показывает, что в зависимости от расположения элементарного ландшафта меняется и профиль содержания загрязняющего вещества. Форма профиля типична для определенной группы химических веществ. Так, например, профили свинца, цинка и марганца аналогичны, а профили распределения никеля по глубине корреспондируются с профилями распределения меди (Джорж Фортестья, 1974). Таким образом, наблюдается устойчивая связь между ландшафтным элементом и процессом поступления

загрязняющих веществ. Учитывая связь между ландшафтом и типом водного питания можно полагать, что существует связь между типом водного питания, и типом загрязнения, если под типом загрязнения понимать источник и направленность загрязняющего потока.

По-видимому, целесообразно выделить определенные типы загрязнений для облегчения разработки методов управления загрязняющим потоком.

**Классификация типов загрязнений** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). Под типом загрязнения будем понимать основное направление поступления на территорию загрязняющих потоков, под воздействием которых формируется режим загрязнения. Тип загрязнения зависит не только от характера загрязняющего вещества, но и от ландшафтных, климатических, гидрогеологических, геологических, геоморфологических, почвенно-литологических и других природных условий конкретной территории.

В соответствии с классификацией ландшафтов и типов водного питания можно выделить следующие типы загрязнения в зависимости от основного направления движения и трансформации потока загрязняющего вещества. По классификации А.Д. Брудастова выделяются пять типов водного питания земель: атмосферный, грунтовый (бассейн грунтовых вод и поток грунтовых вод), грунтово-напорный, склоновый (делювиальный), намывной (аллювиальный). Если с потоком воды на рассматриваемый массив будут поступать и загрязняющие вещества, то каждый тип водного питания может характеризовать направление загрязняющего потока.

В зависимости от того, на какой из элементарных ландшафтов приходит загрязняющий поток, типы загрязнения могут быть следующими: атмосферный (атмосферный – элювиальный; атмосферный – трансэлювиальный; атмосферный – супераквальный; атмосферный – аквальный); грунтовый (грунтовый – супераквальный; грунтовый – аквальный); грунтово-напорный (грунтово-напорный – элювиальный; грунтово-напорный – трансэлювиальный; грунтово-напорный – супераквальный; грунтово-напорный – аквальный); склоновый (склоновый – трансэлювиальный); намывной (намывной – супераквальный). Такая классификация дает возможность каждому типу загрязнения поставить в соответствие свой метод управления качеством природных водных и почвенных объектов. К примеру, атмосферный тип загрязнения преобладает на повышенных водоразделах и равнинах, сложенных глинистыми и суглинистыми грунтами с малыми уклонами поверхности и имеющими на глубине 30-70 см практически водонепроницаемые глеевые горизонты. Как говорилось выше, основным источником загрязнения являются атмосферные осадки, загрязненные кислотами, тяжелыми металлами и другими веществами. При выпадении большого количества осадков, небольшом уклоне и слабой водопроницаемости загрязняющие вещества накапливаются на поверхности почвы. При этом могут загрязняться верховые болота и минеральные земли, которые имеют атмосферный тип водного питания.

При грунтовом типе загрязнения загрязняющие вещества в основном переносятся грунтовыми водами, формирующимися в пределах массива за счет инфильтрации загрязненных атмосферных осадков и притока загрязненных

поверхностных вод со стороны (бассейн грунтовых вод) или за счет притока загрязненных грунтовых вод со стороны (поток грунтовых вод). Этот тип загрязнения преобладает в низинах и понижениях нижней части склона, сложенных хорошо проницаемыми грунтами. Глубина залегания грунтовых вод в весенний период колеблется от 0 до 1-2 м.

При грунтово-напорном типе загрязнения принос загрязняющих веществ осуществляется подземными водами, которые могут быть загрязнены на значительном расстоянии от охраняемого объекта. Загрязненные подземные воды находятся во втором от поверхности водоносном горизонте, отделенном от грунтовых вод слабопроницаемым пластом. Восходящий поток загрязненных подземных вод проходит через «окна» в водоупоре – тектонические трещины, карстовые воронки и другие более проницаемые места в водоупоре. Уровни грунтовых вод и вертикальные потоки обычно стабильны, интенсивность загрязнения зависит от концентрации загрязняющих веществ и интенсивности вертикального потока. Этот тип загрязнения может проявиться на болотах или отдельных участках болот, расположенных в глубоких понижениях. В местах выхода напорных вод наблюдаются загрязнения природного происхождения: кальциевые (наличие известкового туфа), железистые, солевые (осолонение грунтовых вод).

При склоновом (делювиальном) типе загрязняющие вещества переносятся водами, стекающими со склонов. Этот тип загрязнения проявляется на склонах, сложенных тяжелыми почвами, или у их подножья. Изначально загрязняющие вещества могут поступать с атмосферными осадками или с поверхностным стоком с вышележащей площади.

В поймах или долинах рек и озер возможно загрязнение намывного типа. Загрязнения этого типа наблюдаются при выходе вод из берегов во время половодий и паводков. В пределах одного массива может быть несколько типов загрязнения. Если под влиянием загрязнения каждого типа находятся значительные площади, то проектируется сеть очистных сооружений в виде искусственных биогеохимических барьеров, соответствующая каждому типу загрязнения. Либо определяется тип загрязнения, под влиянием которого находится большая часть массива, подлежащего охране или восстановлению, и проектируется природоохранная система, ориентированная на этот тип загрязнения.

Количественной характеристикой типа загрязнения, необходимой для определения параметров природоохранной системы, является воднохимический баланс. Он определяет соотношение между приходом и расходом влаги и загрязняющих веществ за определенный период времени.

Для определения типа загрязнения можно пользоваться приближенным соотношением  $\mathcal{E} = (0,15-0,20) Pr$ , где  $\mathcal{E}$  - основной элемент воднохимического баланса (приток загрязняющих веществ с грунтовыми водами, напорными, склоновыми или аллювиальными), определяющий соответствующий тип загрязнения (грунтовый, напорный, склоновый или намывной);  $Pr$  - приходная часть баланса, то есть сумма приходных элементов баланса.

Для экспертных оценок типа загрязнения можно использовать качественный метод, заключающийся в сравнении природных условий с характерным признаком каждого типа загрязнения (табл.4.32). На основании анализа природных условий и табл.4.32 определяется тип загрязнения (или ряд типов) для участка, подлежащего охране.

**Схемы расположения искусственных геохимических барьеров при загрязнениях различных типов** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). В природных системах интенсификация биологического круговорота достигается не только за счет большого видового разнообразия растений и животных, но и за счет использования естественных биогеохимических барьеров на пути водных потоков (возвышения местности и водоупоры, замкнутые западины на пути подземных и поверхностных вод, малопроницаемые слои почв и грунтов, зоны интенсивного биологического потребления и накопления отдельных химических элементов и др.).

Рациональное размещение искусственных и использование естественных геохимических барьеров на пути миграции загрязнителей может быть одним из способов снижения интенсивности загрязнения экосистем (особенно водных) от рассредоточенных потоков биогенных элементов.

Оптимизация геохимических условий, а, следовательно, и агроландшафта в целом, может быть достигнута с помощью контурных или площадных агрогеохимических барьеров. Таковыми могут быть: полосы отчуждения линейных инженерных сооружений, каналы, почвы с управляемым водно-солевым режимом, водохранилища, лесонасаждения и др. Для каждого природного геохимического ландшафта характерен особый биологический круговорот атомов, особая водная и воздушная миграция химических элементов. При загрязнении этот круговорот нарушается – потоки энергии и вещества существенно увеличиваются. Поэтому методы и способы управления или восстановления географического ландшафта должны отвечать особенностям геохимического ландшафта. В этом смысле нельзя «перенапрягать» геохимические барьеры в «борьбе» с антропогенными загрязнениями. Это очень важно учитывать при планировании размещения биогеохимического барьера.

Размещение биогеохимических барьеров требует глубокого научного обоснования и прогноза поведения вещества на барьере в течение продолжительного времени. Однако точный прогноз момента, в который барьер может «раскрыться», а накопленные за многие годы вещества выйдут за пределы барьера и принесут значительный ущерб окружающей территории, предстоит еще разрабатывать.

Учитывая то, что загрязненность поверхностного стока находится в прямой зависимости от распаханности водосборов и доз внесения удобрений (коэффициент корреляции составляет 0,72-0,99) и что 40-50 %, а в отдельных случаях и больше 50 %, химических веществ в поверхностном стоке, в почвенно-грунтовых и дренажных водах имеет антропогенное происхождение, размещение биогеохимических барьеров, в первую очередь, необходимо



планировать вокруг охраняемых территорий и объектов, в т.ч. водных объектов.

**Таблица 4.32.** Типы, основной источник и условия формирования загрязнения водосбора (В.В.Шабанов, Н.П.Бунина, 2005)

Тип загрязнения	Основной источник загрязнения	Условия формирования
1. Атмосферный	Загрязненные атмосферные осадки, выпадающие на водосборе или над водоемом	Водораздельные земли и верхние части склонов с малыми уклонами, со слабопроницаемыми грунтами (глины, тяжелые суглинки) и с глубоким залеганием грунтовых вод (3-5 м)
2. Грунтовый	Неглубоко залегающие загрязненные грунтовые воды	Земли, представленные песками, супесями и низинными торфами, реже – переходными торфами
2.1. Поток загрязненных грунтовых вод		Низинные болота, расположенные в понижениях рельефа, особенно в поймах и на нижних частях склонов
2.2. Поток фильтрационных вод из водохранилищ и рек		Высокое стояние загрязненных вод в гидрографической сети
2.3. Бассейн загрязненных грунтовых вод		Плоские слабодренированные равнины, сложенные проницаемыми грунтами, – пески, супеси. Уклоны грунтовых вод малые
3. Грунтово-напорный	Загрязненные воды напорного водоносного горизонта, перекрытого сверху слабопроницаемыми грунтами	Выклинивание напорных вод через гидрогеологические «окна» в водоупоре (низинные болота в притеррасных частях пойм), площадное выклинивание напорных вод (грунтовые воды подпитываются напорными), капиллярное загрязнение (слабопроницаемые покровные отложения – глины, тяжелые суглинки, характеризуются большой высотой капиллярного поднятия и отсутствием грунтовых вод)
4. Склоновый	Загрязнение в результате поступления поверхностного стока с прилегающих к природоохранному объекту склонов	Склоны с большими уклонами, сложенные слабопроницаемыми грунтами
5. Намывной	Загрязненные паводковые и другие воды выходящих из берегов рек и озер	Озерные и речные поймы, дельты рек и приморские низменности, подверженные затоплению при сгонно-нагонных течениях

**Виды барьеров и их классификация** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). На каждом биогеохимическом барьере задерживается определенная ассоциация химических элементов, а другие химические элементы, напротив, мигрируют. Состав и количество удерживаемых элементов зависят от содержания и состава гумуса, кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, сорбционной способности, интенсивности биологического поглощения. Оценка этих количественных показателей лежит в основе выделения ландшафтно-геохимических барьеров.

Некоторые исследователи (Геохимические барьеры..., 1990) предлагают техногенные биогеохимические барьеры подразделять на две группы: нейтрализационные (осадительные) и поглотительные.

Нейтрализационные барьеры необходимо создавать для изменения миграционных форм техногенных потоков, меняя в них кислотно-щелочные условия и переводя загрязняющие вещества в менее подвижные или нерастворимые формы. Например, такие барьеры могут использоваться при загрязнении атмосферного типа кислотными осадками. Поглотительные барьеры могут работать, используя механизмы физико-химической или «биологической» сорбции, то есть поглощения химических веществ растениями в процессе их жизнедеятельности. Введение биологического элемента приближает техногенные геохимические барьеры к естественным, и, как было показано выше, в этом случае барьер становится биогеохимическим. Такие барьеры могут использоваться при любом загрязнении, но особенно он эффективен при грунтовой загрязнении.

Для решения задач создания геохимических барьеров в условиях агроландшафтов, по-видимому, целесообразно уточнить их классификацию. В этом случае барьеры можно разделить на контурные (линейные) и площадные (пространственные), с одной стороны, а с другой, на статические (неуправляемые) и динамические (управляемые), барьерные свойства которых можно поддерживать только при оптимальном управлении их водным, тепловым и химическим режимами (это особенно важно при создании биогеохимических барьеров).

В качестве естественных барьеров могут быть такие природные объекты агроландшафта, как заболоченный луг, замкнутый водоем, болото, кустарники, леса, почвенные слои и др. Вместе с тем, для повышения эффективности их работы необходимы специальные инженерные сооружения и мероприятия, которые подведут загрязненные воды к биологическим концентраторам (в первую очередь, это растения), удержат растворы необходимое время в контакте с корневой системой и отведут излишки очищенных вод. Наиболее распространенным естественным биогеохимическим барьером является почвенно-грунтовая толща. Эффективность ее работы как барьера определяется поглощающей способностью в отношении задерживаемых элементов и зависит от свойств почво-грунта, состава загрязнителей и гидротермического режима (Н.П.Бунина, В.В.Шабанов и др., 1992).

Слой почвогрунта между грунтовыми водами и почвенным слоем может служить динамическим биогеохимическим барьером. Поддерживая в нем

режим равновесного водообмена, можно удерживать биогенные вещества в системе: грунтовые воды – почвенный слой – растение. При равенстве восходящего и нисходящих потоков влаги за отдельные периоды создаются наилучшие условия для развития растений. При таком режиме несвязанные биогены включаются в биологический цикл или находятся в динамическом равновесии в системе грунтовые воды – корнеобитаемый слой почвы и не выходят за пределы этой системы, исключая случаи выпадения обильных осадков.

**Реализация биогеохимических барьеров** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). Организация техногенных барьеров, сформированных на основе природных, наиболее просто и с меньшими затратами может быть осуществлена при осушении низинных торфяников. Здесь вынос биогенов с болота может быть перехвачен на динамическом биогеохимическом барьере, в котором действует комплекс факторов концентрации элементов (кислородный, испарительный, сорбционный), но самым мощным фактором в этом случае является концентрация элементов биотическим сообществом.

Выше отмечалось, что хотя почва и является площадным геохимическим барьером, но без специальных инженерных сооружений или мероприятий, создающих оптимальный гидрохимический режим, она не в состоянии осуществить барьерные функции. Статические площадные барьеры можно создавать, меняя водно-физические и химические характеристики почвы и тем самым управляя ее проводящими и сорбционными (емкостными) свойствами.

Широко известны способы торфования и землевания, т.е. внесения в минеральную почву торфа, а в торфяную – минеральной составляющей. Создание сорбционного геохимического барьера в виде легкосуглинистого гумусированного нейтрального пахотного горизонта путем торфования (300 т/га абсолютно сухого торфа) и землевания (2250 т/га абсолютно сухой минеральной породы) приводит к ограничению миграции веществ и снижению уровня минерализации торфа. Кроме землевания и торфования, создание геохимического барьера возможно и путем известкования (Н.К.Чертко, 1991).

В качестве естественного пространственного биогеохимического барьера для биогенов можно использовать заболоченные земли, которые являются одним из немногих имеющихся в распоряжении методов нейтрализации эмиссии биогенов из рассредоточенных (неточечных) источников.

Известно, что состав как природных, так и техногенных веществ в водах поверхностного и внутрипочвенного стоков и их направленность может контролироваться лесными насаждениями, играющими роль ландшафтно-геохимических барьеров. Анализ выполненных исследований показывает высокую эффективность лесных насаждений в очистке загрязненных биогенами вод.

**Эффективность лесных насаждений, используемых в качестве биогеохимических барьеров** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). Известно, что при отсутствии пашни на водосборе или же при распаханности водосбора не более 60% и лесистости 25-30 % концентрация аммиачного азота и фосфора приближалась к экологическим нормативам. Зависимости

концентрации аммиачного азота и фосфора от лесистости водосборов показывают, что свободная от этих ингредиентов вода будет стекать с площадей, имеющих лесистость не менее 80 % (Ю.Д.Матухно, 1982).

С увеличением лесистости водосборов содержание биогенных элементов в стоке уменьшается. Корреляционная зависимость между этими показателями обратная, средняя для калия и сильная для аммиачного азота и фосфора. Только на концентрацию нитратов лес не оказывал существенного влияния.

В лесных полосах водопоглощение в 2-5 раз выше, чем на полевых участках. При этом водопоглощение в полосе с кустарником в 2-3 раза больше, чем без кустарника. Кустарники задерживают твердую фракцию, но незначительно снижают концентрацию водорастворимых соединений азота. Таким образом, биоконцентраторы в биогеохимических барьерах должны включать кустарниково-древесную, луговую и подкрановую растительность.

Усиление водоохранной роли лесных полос может быть достигнуто созданием простейших гидротехнических сооружений. Например, открытых и закрытых собирателей загрязненного стока, нагорных и ловчих каналов, подводящих сток к биоконцентраторам, сооружение канав веерного типа обеспечивает повышение эффективности лесных насаждений в регулировании поверхностного стока и задержание от 10 до 30 т/га его твердой фазы и ряда других (А.Б.Величко, 1986).

Следует учитывать, что в очистке загрязненного стока с полей (загрязнение склонового и грунтового типа) принимает участие не весь лес, а только те его участки, через которые проходит загрязненный сток, - так называемые рабочие участки.

К ним относятся облесенные ложбины, лесные полосы и опушки леса, расположенные перпендикулярно направлению стока, облесенные днища балок и т.д. При общей лесистости водосбора около 60% лесные рабочие участки занимают всего лишь 1 % площади водосбора.

Наибольшая нагрузка со стороны загрязненных вод ложится на начало лесных полос (опушки). В этих местах наблюдается самое интенсивное изменение концентраций азотных и фосфорных соединений. Что же касается других компонентов химического состава вод, то содержание их в большей степени лимитируется глубиной залегания вод и разнообразием почвенных горизонтов. Для большинства почв экотонов, то есть мест соприкосновения лесных насаждений и пахотных частей склонов, характерна более низкая кислотность по сравнению с почвами, находящимися под растительностью в глубине лесных насаждений.

Почвы экотонов содержат обычно меньше гумуса, азота, но богаче фосфорными и калийными соединениями. В экотоне и в зоне 5-10 м от него наблюдается изменение водно-физических свойств почв – увеличение плотности, уменьшение водопоглотительной способности и водопроницаемости. Увеличение эффективности биогехимического барьера возможно за счет фигурного (например, шахматного) расположения его отдельных элементов.

**Конструктивные особенности биогеохимических барьеров** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). Возможность создания искусственных биогеохимических барьеров во многом заложена в конструкции мелиоративных систем. Это вытекает из типизации загрязнений, которые достаточно хорошо корреспондируются с типами водного питания. Примером тому могут служить замкнутые осушительно-оросительные системы, состоящие из регулирующей сети, проводящей сети, пруда-накопителя дренажных стоков и оросительной сети, подающей воду из пруда-накопителя на осушаемый участок в засушливые периоды. При правильном управлении этой системой можно достаточно полно удерживать биогены в биологическом цикле. Сложность и тонкость такого управления обуславливается, с одной стороны, неопределенностью (стохастичностью во времени) погодных условий, а с другой – стохастичностью в пространстве характеристик почвогрунтов. Все это требует разработки специальных методов прогноза поведения биогенов в динамическом геохимическом барьере.

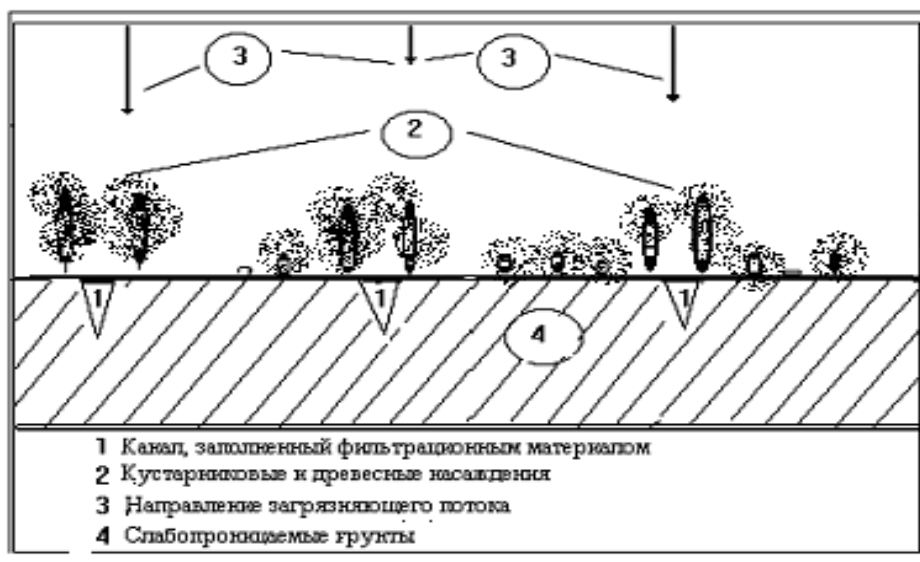
Конструктивные особенности биогеохимических барьеров обусловлены природоохранными мероприятиями, которые, в свою очередь, обуславливаются типами загрязнения. Так, основные природоохранные мероприятия при атмосферном загрязнении – удаление загрязненных вод с поверхности путем ускорения поверхностного стока, нейтрализация загрязненных (например, подкисленных вод), концентрация загрязнителя на биогеохимическом барьере или накопление их в растительной массе. Технические методы борьбы с атмосферным загрязнением включают увеличение уклона, уменьшение шероховатости поверхности земли, ликвидацию бессточных понижений, повышение впитывающей, аккумулирующей и сорбционной способности почвогрунтов (рыхление почво-грунтов, устройство поглотителей и нейтрализаторов (рис.4.10).

При загрязнении грунтового типа основными природоохранными мероприятиями может быть понижение уровня грунтовых вод ниже корнеобитаемой зоны и высоты капиллярного поднятия при сельскохозяйственном использовании территории и регулирование уровней грунтовых вод для интенсификации работы нейтрализаторов и концентраторов загрязняющих веществ (рис.4.11).

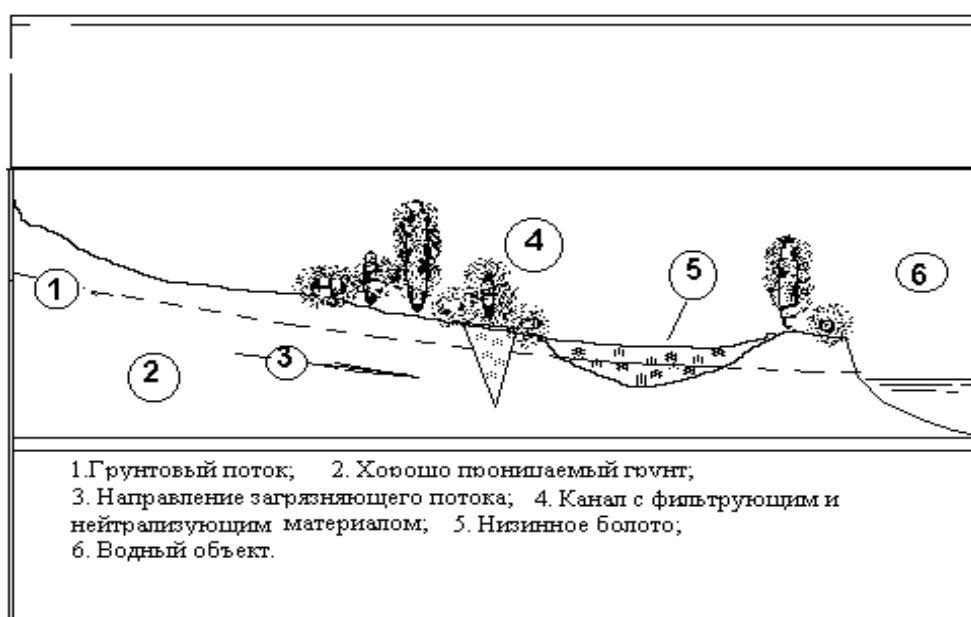
При грунтово-напорном загрязнении основные мероприятия заключаются в снижении напорности в загрязненном водоносном пласте, после чего тип загрязнения переходит в грунтовой.

При склоновом загрязнении основное природоохранное мероприятие - перехват склонового стока (поперечное бороздование, лункование склонов, посадка лесополос (рис.4.12).

При загрязнении намывного типа основные природоохранные мероприятия - регулирование стока (ускорение или задержка паводков) и защита охраняемых территорий в долинах и поймах дамбами или валами, рис.4.13).



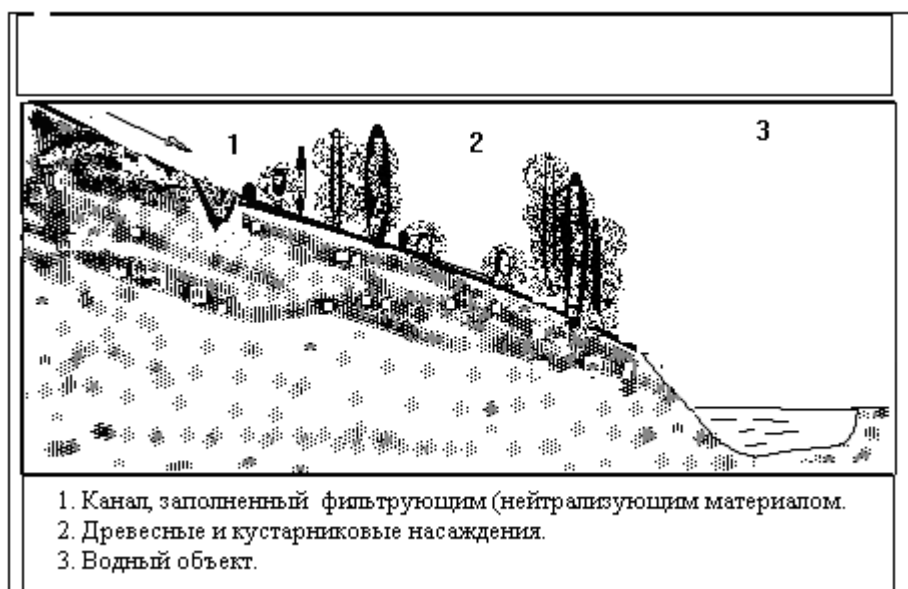
**Рис.4.10. Схема управления загрязняющим потоком при атмосферном типе загрязнения (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)**



**Рис 4.11. Схема управления загрязняющим потоком при грунтовом типе загрязнения (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)**

Как видно из рисунков, все схемы управления загрязненным потоком в качестве обязательного элемента включают биологический концентратор загрязняющего вещества в виде травянистой, кустарниковой и древесной растительности.

Для определения состава и параметров этих элементов целесообразно воспользоваться рекомендациями по агролесомелиоративным мероприятиям. Так, например, по данным Г.Б. Паулюквичюса (1989), необходимый процент залесенности для холмистых ландшафтов (склоновый тип загрязнения)



**Рис. 4.12. Управление загрязняющим потоком при склоновом типе загрязнения (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)**



**Рис.4.13. Схема управления загрязняющим потоком при намывном типе загрязнения (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005)**

равняется 25-40%, для равнинных (атмосферный тип загрязнения при тяжелых грунтах и грунтовый тип загрязнения при легких грунтах) – 10-30%, а для площадей с эоловыми отложениями – больше 40%.

Дифференциация залесенности в зависимости от типа ландшафта и механического состояния почв следующая:

1. Холмистые ландшафты: с песчаными и гравийными почвами (грунтовый тип загрязнения) – 25-30%; с супесчаными и суглинистыми почвами (склоновый и частично грунтовый тип загрязнения) – 30-35%; с глинистыми почвами (атмосферный тип загрязнения) – 35-40%.

2. Равнинные ландшафты: с эоловыми отложениями (атмосферный тип загрязнения) >40%; с флювиогляциальными песчаными и гравийными отложениями – 25-30%; с песчаными заболоченными почвами (грунтовый тип загрязнения) – 20-25%; с суглинистыми хорошо дренированными почвами (грунтовый тип загрязнения) – 18-20%; с лимно-гляциальными отложениями (намывной тип загрязнения) – 12-15%; с известковыми отложениями – 10-12%.

Если природоохранном объектом является озеро или водохранилище, то Г.Б. Паулюквичюс считает целесообразным, «чтобы вокруг озер, а также на отдельных частях их склонов с крутизной больше 10-12 градусов участки были покрыты лесными насаждениями» (табл. 4.33).

При склоновом загрязнении на крутых приозерных склонах необходимо, чтобы лесные насаждения покрывали и забровочную часть на 5-10 м.

Исходя из более общих рекомендаций, можно принять, что при интенсивном использовании сельскохозяйственных угодий (при склоновом типе загрязнения) ширина лесных водопоглотительных полос, выполняющих функции биогеохимических барьеров и ограждающих водные объекты (например, озера), должна быть не менее 1/3-1/4 длины приозерных склонов. Узкие полосы (меньше 5-8 м), особенно разреженные, вытопанные скотом, не способны трансформировать химический состав вод, стекающих (например, при склоновом загрязнении) с пахотных частей склонов.

Барьерная роль лесных насаждений усиливается в понижениях рельефа, в местах концентрации поверхностных и почвенных вод. Именно в этих местах должны закладываться самые широкие полосы, и они требуют особенно бережного ухода.

Водоохранные лесные насаждения, расположенные в нижних и средних частях приозерных склонов, испытывают наибольшие нагрузки, обусловленные воздействием снега, продуктов дефляции (при атмосферном загрязнении), твердого стока, водорастворимых химических веществ (при склоновом и грунтовом загрязнении). В связи с этим необходим специальный режим ухода (управления) в водоохраных лесных насаждениях.

Высокая аккумулялирующая способность лесных насаждений способствует задержанию твердых наносов и их отложению в виде мощных скоплений делювия у опушки и на протяжении 10-15 м от нее вглубь лесных полос.

При конструировании биогеохимического барьера особое внимание следует уделить видовому составу биоконцентраторов. Здесь также целесообразно воспользоваться рекомендациями по агролесомелиоративным мероприятиям. В соответствии с исследованиями Г.Б. Паулюквичюса (1989), почвы под лиственными древостоями получают на 1000-1300 м<sup>3</sup> влаги с жидкими осадками и на 300-500 м<sup>3</sup>/га со снегом больше, чем под хвойными. Таким образом, эти породы наиболее эффективны при атмосферном загрязнении. А так как лиственные насаждения раньше начинают и раньше заканчивают рост и, следовательно, меньше расходуют влаги на транспирацию (эта «экономия» весной составляет до 200, а осенью 700 м<sup>3</sup> воды на гектар), они менее эффективны при грунтовом загрязнении.



**Таблица 4.33.** Шкала выделения противэрозионных и водоохраных полос вокруг озер (по Г.Б.Паулюквичюсу, 1989)

Группа склонов	Форма склонов	Характеристика длины, крутизны склонов и бровок, лесных насаждений	Механический состав почв	Крутизна склонов			Положение в рельефе				
				минимальная	максимальная	средняя	на склонах	на крутых (>10-12) отрезках склонов	в забровочных частях	на пологих частях склонов(<10 - 12°) отрезках склонов выше крутых отрезков (>10-12°)	на пониженных местах концентрации поверхностного стока
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
I	Простая	различной длины с хорошо выраженными бровками, часто лесные насаждения покрывают склоны до бровки	пески, гравий, супеси,	> 10°	> 20°	> 12°	на всей длине		5°	-	15°
			суглинки, глины	> 10°	> 20°	> 10°	»		8°	-	12°
II	Сложная	различной длины (часто <50 м) с чередующей крутизной, плохо выраженными бровками. Сохранившиеся лесные насаждения покрывают нижнюю часть и крутые отрезки склонов	пески, гравий, супеси,	< 10°	> 15°	< 12°	-	на всей длине	-	5°	20°
			суглинки, глины	< 10°	>15°	< 10°	-	»	-	8°	15°

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III	Сложная	длинные (часто > 100 м) с очень крутой (> 20°) короткой (часто < 20 м) нижним отрезком, оброс шим лесной растительностью и длинными и наклонными (< 10°) верх ними отрезками склонов	гравий, супеси	< 5°	> 20°	< 8°	-	»	-	8°	25°
			суглинки, глины	< 5°	> 20°	< 8°	-	»	-	10°	20°
							1/7 склона, но не меньше 5 м	-	-	-	-
IV	Простая	различной длины, часто распаханы или с сохранившимся одним рядом деревьев	пески, гравий,	< 3°	< 5°	< 5°	1/6 склона, но не меньше 8 м	-	-	-	-

Вместе с тем, исследования Г.Б. Паулюкявичюса и некоторых других ученых показывают, что под лиственными древостоями наблюдается более равномерное распределение сезонного стока из-за меньшего промерзания почв, более равномерного распределения снега, более глубокого разрыхления почв корнями, высокой водопроницаемости почв весной. Эти свойства лиственных древостоев делают их пригодными в качестве биоконцентраторов при атмосферном и склоновом загрязнении. Как показали исследования (Г.Б. Паулюкявичюс, 1989), концентрация осадков, проникших под полог лиственных насаждений, значительно ниже, чем в хвойных древостоях. Под хвойными насаждениями больше задерживается снега, глубже промерзает почва, образуется поверхностный и внутрипочвенный сток, пересыхает почва, уменьшается активность микроорганизмов.

Правда, пересыхание почв препятствует миграции ряда химических веществ (*Ca, Mg, S, Cl*), но, с другой стороны, большая кислотность почв под хвойными деревьями усиливает вынос некоторых химических веществ. Под лиственными древостоями почвы богаче глинистыми частицами, гумусом, что создает более мощный сорбционный барьер для *K, P, N, S, Cl*, а также для ряда тяжелых металлов.

Лиственные древостои для образования одной тонны органического вещества требуют больше *K, P, N* и других химических веществ, угрожающих качеству природных вод, поэтому почвенно-грунтовые воды под ними (ясеновые, березовые, дубовые древостои) содержат меньше химических веществ, чем под хвойными.

Водоохранные полосы наиболее целесообразно отводить под древесную и кустарниковую растительность. Луговые полосы, по мнению эстонских ученых (Ю.Э.Мандер, К.Ф.Алеканд, 1982), малоэффективны с точки зрения инфильтрации талых вод.

И, наконец (Г.Б. Паулюкявичюс, 1989), сосновые и сосново-еловые насаждения целесообразно размещать только на глубоких песчаных и гравийных почвах. На песчаных разновидностях, подстилаемых более тяжелыми отложениями, особенно при выклинивании грунтовых вод (грунтовое загрязнение), лучше всего высаживать лиственные породы – березу, ольху, осину.

На карбонатных, гравийных, богатых глинистыми частицами почвах хорошо выполняет водоохранную роль дуб. На сильноосмытых супесчаных и суглинистых почвах наиболее перспективны для усиления инфильтрационных свойств почвы (перевод атмосферного и склонового загрязняющего потока в грунтовый) и наиболее эффективны древостои ольхи серой. В средних и нижних частях склонов, особенно с интенсивным притоком влаги (грунтовый тип загрязнения) – ольхи черной и ясеня. На крутых коротких нижних частях склонов, особенно с намытыми почвами (склоновый тип загрязнения), надо высаживать лещину, липу и другие породы, устойчивые к механическому повреждению и дающие отпрыски. Густые заросли хорошо задерживают твердые наносы, снег и даже комки минеральных удобрений, катящихся вниз с верхних пахотных частей склона.

В прирусловых частях речных долин (при намывном загрязнении) незаменимы для смягчения ледохода и осаждения твердых крупных наносов являются ивы, а в поймах рек и ручьев особую ценность представляют черноольховые насаждения. Они хорошо укрепляют берега, образуют тень, препятствуют зарастанию водоемов. В процессе функционирования биогеохимического барьера (в том числе и выполненного в виде лесной полосы) происходит постепенное ухудшение его водопоглотительных и сорбционных свойств, поэтому за ними необходимо постоянно наблюдать и управлять нагрузками на них.

**Некоторые рекомендации по обоснованию и размещению барьеров** (по В.В.Шабанову, Н.П.Буниной, 2005). На основании анализа и обобщения работ многих исследователей можно полагать, что размещение биогеохимических барьеров необходимо планировать на стадии размещения производственных объектов. Так, например, при планировании работ в гумидной зоне необходимо выделить территории, освоение которых экологически не оправдано и экономически нецелесообразно. Это земли из категории не подлежащих освоению, на которых, в первую очередь, могут быть созданы геохимические барьеры. Исторически природные биогеохимические барьеры разрушались при решениях «центра» увеличить площадь пашни за счет неиспользованных земель и неудобий, при создании «удобных участков» для обработки мощной сельскохозяйственной техникой в нечерноземной зоне, а также при непрекращающемся использовании водоохраных зон, распашке эрозионно опасных территорий, осушении верховых болот и других экологических действиях.

К таким землям относятся: земли, освоение которых может повлиять на сохранение и режим охраняемых территорий; земли с большим природным разнообразием; площади с доминированием малопродуктивных или неудобных для сельского хозяйства земель; земли, изобилующие родниками; приозерные низинные болота или озерозащитные полосы достаточной ширины; долины мелких и средних рек, протекающих по холмистым территориям; земли, характеризующиеся особо сложными природными условиями, сметная стоимость обустройства которых в два или более раз превышает среднюю стоимость для региона.

Конкретно места размещения зависят от многих параметров – структуры рельефа; крутизны, формы и протяженности склонов (табл. 4.34). В соответствии с рекомендациями (Г.Б. Паулюкявичюс, 1989), «на площадях с мелкохолмистым рельефом (когда длина склонов меньше 50 м) подлежат облесению мелкие крутые холмы или отдельные их части; на площадях со среднехолмистым рельефом (когда длина склонов составляет 50...150 м) в первую очередь облесению подлежат сильно смыываемые и выдуваемые ветром вершины холмов, верхние части склонов; на площадях с крупнохолмистым (котловинным) рельефом (когда длина склонов превышает 150 м) рекомендуется следующий подбор мест:

на прямых склонах – вершины и верхние части склонов;

на выпуклых склонах – верхние и средние части склонов;

на вогнутых склонах – вершины и верхние части склонов;  
 на склонах сложной формы – части склонов, наиболее подверженные эрозии и дефляции.

Условия рельефа обуславливают и конфигурацию лесных насаждений. В холмистом рельефе более оптимальными являются массивные колковые лесные насаждения. В равнинных ландшафтах желательны узкополосные правильной геометрической формы лесные насаждения. Они не только занимают меньше плодородной земли, но и имеют длинную линию соприкосновения с полями. Разработанная классификация типов загрязнения водосборов и соответствующие им методы организации потоков загрязняющих веществ позволяют создавать систему биогеохимических барьеров как элементов культурного ландшафта.

Проектируя искусственные или восстанавливая естественные биогеохимические барьеры в целях повышения качества водных объектов, можно решать одновременно вопросы повышения экологического (видового) разнообразия ландшафта и его устойчивости.

**Таблица 4.34.** Параметры оптимального размещения биогеохимических барьеров (лесных насаждений) для охраны агроландшафта (Г.Б. Паулюквичюс, 1989)

Тип рельефа	Механический состав почв	Оптимальная площадь открытого пространства	Необходимая длина лесных опушек (экотонов), м	Оптимальное расстояние между лесными насаждениями, м
Равнинный	пески, гравий,	30-40	1500-1800	500x800
	суглинки,	60-80	2300-2500	600x1000
Холмистый	пески, гравий, супеси	15-20	1200-1400	400x500
	средние и тяжелые суглинки, глины	45-50	2500-2800	600x800

#### 4.5. Изменение климата и моделирование продукционных процессов

Математическое моделирование продуктивности агроландшафтов и их составляющих является теоретической основой определения агроэкологических ресурсов территории, их количественной оценки и агроэкологического и агроландшафтного районирования. Агроэкологические ресурсы территории во многом определяются погодно-климатическими условиями. В связи с этим проблема изменения климата для сельскохозяйственного производства является особо актуальной. И любое моделирование изменения продуктивности прямо

или косвенно должно учитывать возможные изменения климатических составляющих.

В ГОСТ Р 54139-2010 указывается, что «климат изменяется в ответ на многочисленные виды деятельности человека, в результате которых в атмосферу попадают газы, усиливающие природный парниковый эффект. Тысячелетиями парниковый эффект способствовал поддержанию равновесия между поступающим на Землю солнечным излучением и исходящим земным излучением. Любое изменение либо в поступающем, либо в исходящем излучении изменяет поверхностную температуру Земли. Усиление парникового эффекта приводит к явно выраженному потеплению, которое в свою очередь влечет изменения в других климатических и погодных переменных. Помимо усиления природного парникового эффекта, некоторые из этих газов также истощают стратосферный озоновый слой, что в итоге приводит к чистому увеличению ультрафиолетового излучения (УФ), достигающего земли. Оба геофизических процесса влияют на здоровье человека.

Масштабы влияния человека на окружающую среду определяются тремя независимыми друг от друга факторами (ГОСТ Р 54139-2010): объемом потребления на душу населения, численностью народонаселения и технологиями, используемыми для производства и потребления ресурсов. То обстоятельство, что в результате деятельности человека помимо других веществ, загрязняющих воздух, воду и почву, вырабатываются парниковые газы, привело правительства к необходимости принятия Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН).

Усилия, направленные на уменьшение выбросов парниковых газов, не сразу приведут к прекращению нынешнего процесса потепления (ГОСТ Р 54139-2010). По существу, длительность пребывания некоторых парниковых газов в атмосфере и инерция климатической системы означают, что, даже если будут прекращены все выбросы, физический состав нынешней атмосферы будет десятки, а то и сотни лет продолжать оказывать влияние на климатическую систему. Поэтому последствия уменьшения выбросов могут проявиться только по прошествии значительного времени. Эти ограничения физического характера приводят к признанию того факта, что нужны упреждающие меры предосторожности против ожидаемых последствий изменения климата. Нужно разрабатывать стратегии и меры по адаптации таким образом, чтобы уменьшить возможные неблагоприятные воздействия и с выгодой использовать потенциальные благоприятные последствия. Эти меры должны учитывать следующие факторы (ГОСТ Р 54139-2010):

- изменение климата не вызывает каких-то новых воздействий окружающей среды на человека, но может усугубить бремя болезней, чувствительных к климату, в зависимости от реализации своевременных и действенных мер вмешательства;
- изменение климата является следствием, как природных процессов, так и процессов деятельности человека. Выбросы парниковых газов влияют на здоровье человека в разных масштабах. В местных масштабах вредное действие оказывают твердые примеси, выбрасываемые в атмосферу транспортными

средствами. В региональном масштабе перенос оксидов серы и азота вызывает выпадение кислотных осадков. В глобальных масштабах создается целый спектр опасных факторов для здоровья человека в результате взаимодействия между изменением климата и местными факторами окружающей среды.

Однако ряд ученых все же считает, что глобальное потепление на Земле задано именно природными причинами, а не хозяйственной деятельностью (Х.Абдусаматов, 2007 (по О.Второвой, 2007)), что вариации диаметра и формы Солнца влияют на интенсивность потока солнечного излучения и оказывают решающее влияние на климат Земли и в середине XXI века из-за существенного уменьшения потока солнечного излучения произойдет глобальное понижение температуры до состояния глубокого похолодания. Точный прогноз возможных изменений климата ученые ожидают получить к 2016 году.

По данным (О.Д.Сиротенко и др., 2007) увлажненность в летний период за последние 30 лет по данным о распределении трендов ГТК (гидротермического коэффициента Селянинова) существенно уменьшилась на большей части Европейской России за исключением Северного Кавказа, Нижнего Поволжья, Южного Урала и Зауралья. В табл.4.35 представлена качественная оценка благоприятности изменений климата для сельского хозяйства России.

Широтное распределение глобального потепления климата повлияло на климатическое поле приземной температуры воздуха Украины (Клімат України, 2003). Выявлены следующие основные особенности трансформации климатического поля приземной температуры воздуха за последние 100 лет на территории Украины: 1) выравнивание поля средней месячной приземной температуры. В тех регионах и для тех месяцев, где приземная температура сравнительно высокая, она практически не изменилась, а где сравнительно низкая – повысилась; 2) деконтинентализация климата. Основной характеристикой континентализации климата является амплитуда сезонного хода приземной температуры. Анализ инструментальных метеорологических наблюдений показал, что амплитуда сезонного хода температуры приземного воздуха уменьшилась примерно на 0,4 °С (средняя месячная норма амплитуды, приведенной к уровню моря, составляет 12,6 °С).

По мнению (Клімат України, 2003) в Украине особенности циркуляции атмосферы и влияние разных местных факторов приводят к резкому общему снижению средней годовой интенсивности осадков на территории. Среднее годовое количество осадков в Украине равняется примерно 580-600 мм/год, что на 1/3 меньше среднего значения уровня для этого широтного пояса. За последние 100 лет в юго-восточных областях Украины (зона недостаточного увлажнения) годовое количество осадков существенно увеличилось, а в северо-западных областях (зона чрезмерного увлажнения) – снизилось.

Исследования ученых (Н.П.Гребенюк, М.Б.Барабаш, 2004 и др.) показывают, что свой вклад в изменение климата вносит и урбанизация. Большой город повышает температуру окружающего воздуха благодаря

**Таблица 4.35.** Качественная оценка степени благоприятности наблюдаемых изменений климата для сельского хозяйства России (Р – увеличение, П – уменьшение, Н – неопределенность, знак + - улучшение условий, знак - - ухудшение, 0 – без существенных изменений, \* - увеличение теплообеспеченности не сопровождается ростом напряженности термического режима) (О.Д.Сиротенко и др., 2007)

Район	Доля региона в зерновом балансе, %	Увлажненность		Теплообеспеченность		Температура холодного периода		Континентальность климата	
		тренд	оценка	тренд	оценка	тренд	оценка	тренд	оценка
Северо-Кавказский	19,3	Р	+	Р	+	Р	+	П	+
Поволжский	17,6	Р	+	Н	0	Р	+	П	+
Уральский	15,7	Р	+	П	-	Р	+	П	+
Западно-Сибирский	13,7	Н	0	Р*	+	П	-	Н	0
Черноземный центр	10,6	П	-	Р	+	Р	+	П	+
Центральный	10,1	П	0	Р	+	Р	+	П	+
Волго-Вятский	5,7	Р	0	Н	0	Н	0	Н	0
Восточно-сибирский	5,3	П	-	Р	+	Р	+	Н	0
Дальневосточный	1,2	П	0	Р*	+	Р	+	П	+
Северо-Западный	0,6	П	+	Р	+	Р	+	П	+

тепловым выбросам промышленных предприятий, работе транспорта, прогрева зданий и асфальтовых покрытий. За интегральную оценку урбанизации условно принимают численность городского населения. В Украине городское население составляет 67% от общего количества. Причем в Донецкой и Луганской области оно составляет 90%, в Запорожской и в Крыму до 70%. Существует мнение, что город влияет на климат, если в нем проживает более 300 тыс. жителей. (Климат Беларуси, 1996). Исследования (Н.П.Гребенюк, М.Б.Барабаш, 2004) показали, что города с населением 300-500 тыс. жителей в среднем повышают температуру по сравнению с фоном на 0,2-0,3°C, но в отдельные сутки эта разница может достигать и 10°C. Для Киева и Харькова разница температуры в городе и за его пределами составляет около 0,7 °С, для Днепропетровска и Донецка 0,6°C, для Одессы и Запорожья – 0,5°C. Зависимость прироста температуры ( $\Delta T$ ) от численности населения выглядит следующим образом:

$$\Delta T = 0,5 \log N - 2,77,$$

где N – численность населения в период стабильной экономики Украины (1985-1990 гг.).



Чувствительность климатической системы Земли существенно зависит от продолжительности внешнего воздействия и типа отклика (И.Л.Кароль и др., 2009). Короткий (20 лет), средний (100 лет) и длительный (500 лет) периоды, используемые для вычисления потенциала глобального потепления (GWP - определяется с помощью предварительно оцененных радиационных потоков) в работе IPCC (1990) ассоциируют с различными частями климатической системы: 1) атмосферой и верхним слоем океана толщиной 0,05-0,10 км; 2) атмосферой и верхним слоем океана толщиной 0,5-1,0 км (термоклинный слой); 3) атмосферой и всем океаном.

В климатической системе Земли есть компоненты с большой инерцией – океан и ледниковые щиты и некоторые временные константы невозможно оценить посредством анализа существующих коротких временных рядов температуры подстилающей поверхности, поэтому необходимо привлечение в анализ данных палеореконструкций.

Согласно ГОСТ Р 54139-2010 климатические сценарии - это представления будущего климата, которые должны быть построены для использования в целях исследования возможного влияния изменения климата. Национальные климатические сценарии должны быть построены специально для оценки влияния в масштабах страны. ГОСТ Р 54139-2010 рекомендует использовать национальные или региональные сценарии, если они имеются. Климатические прогнозы являются результатом экспериментов с использованием климатической модели, в основу которых положены сценарии выбросов парниковых газов, и редко содержат достаточно информации для оценки будущего воздействия изменения климата. Для того чтобы исследователи, изучающие чувствительность, воздействие и адаптацию, могли использовать результат моделей, его, как правило, нужно подвергнуть определенной серии действий и объединить с наблюдаемыми климатическими данными. В табл. 4.36 показана роль различных типов климатических сценариев.

Для того чтобы можно было сравнивать и оценивать результаты исследований воздействия климата, должна быть обеспечена согласованность методов, которые используются для этих исследований. Это включает периоды времени, которые берутся в исследованиях, как для базового климата (на данный момент), так и для будущего. Поэтому для исследований воздействия климата рекомендуется использовать в качестве базового климата, усредненный за период с 1961 по 1990 гг., так как именно этот период используется в большинстве проводившихся в международной практике исследований (ГОСТ Р 54139-2010). Недавно Всемирная метеорологическая организация (ВМО) и климатологи пересмотрели климатическую нормаль - тридцатилетний период, наилучшим образом представляющий нынешний климат, изменив ее на 1971-2000 гг. Аналогичным образом сообщества исследователей, изучающих чувствительность, воздействие и адаптацию в рамках МГЭИК, для оценки будущего преимущественно используют три стандартных тридцатилетних усредненных периода: 2010-2039 гг., 2040-2069 гг. и 2070-2099 гг.

**Таблица 4.36.** Климатические сценарии, которые могут быть использованы при оценке воздействия на здоровье (ГОСТ Р 54139-2010)

Тип сценария	Описание или применение
Разностный	Проверка чувствительности системы. Выявление основного климатического порога
Аналоговый	
Инструментальный	Изучение чувствительности здоровья и некоторых видов способности к адаптации. Экстраполяция зависимостей между климатом и численностью населения
Пространственный	Педагогический
На основе климатических моделей	
Непосредственный выходной результат модели глобального климата "атмосфера-океан"	Исходная точка для большинства климатических сценариев. Крупномасштабные ответные меры на антропогенное воздействие на климат
С высоким разрешением или растянутой сеткой (атмосферная модель глобального климата)	Получение информации с высоким разрешением в глобальном или континентальном масштабах
Региональные модели	Получение информации с высоким пространственным или временным разрешением
Статистическое уменьшение масштаба	Получение точечной информации или информации с высоким пространственным разрешением
Генераторы климатических сценариев	Комплексные оценки. Изучение неопределенности. Педагогические
Генераторы погоды	Генерирование временных рядов базового климата. Изменение моментов климата высокого порядка. Статистическое уменьшение масштаба
Экспертная оценка	Изучение вероятности и риска. Интегрирование нынешних воззрений на изменения климата

Примечание - Необходимо отметить, что можно использовать региональное моделирование и генератор погоды.

Только колебания средних величин не определяют «изменения климата», нужно также учитывать изменчивость метеорологических величин. Для комплексной оценки изменения климата рекомендуют использовать индекс изменения климата (М.В.Ваэттиг и др., 2007):

$$TI = (TI1 + TI2) / 2,$$

где  $TI1$  – события, характеризующие среднегодовые температуры;  $TI2$  – события, характеризующие среднесезонные температуры:

$$TI1 = \frac{ICY + INY}{2}, \quad TI2 = \frac{IHW + ICW + IHS + ICS}{4}, \quad (*)$$

где  $ICY$  – количество аномально холодных лет по отношению к базовому периоду;  $INY$  – количество аномально жарких лет по отношению к базовому периоду;  $ICW$  – количество аномально холодных зим по отношению к базовому периоду;  $IHW$  – количество аномально жарких зим по отношению к базовому периоду;  $ICS$  – количество аномально холодных летних сезонов по отношению к базовому периоду;  $IHS$  – количество аномально жарких летних сезонов по отношению к базовому периоду. При расчете этих показателей сначала для исследуемой точки (или метеостанции) для обоих периодов (базового и прогнозного) рассчитывают средние для каждого года, зимы и лета значения температуры, затем по накопленным повторяемостям определяют 90-ю и 10-ю перцентили и определяют количество случаев превышения 90% и не превышения 10%. Затем находят разность значений между базисным и прогнозным периодами эти значения и будут искомыми индикаторами в уравнениях (\*).

В построении климатического сценария на основании данных экспериментов с климатической моделью выделяют следующие этапы (ГОСТ Р 54139-2010):

- вычисление разницы (например, в температуре воздуха) или соотношения (например, по количеству осадков и солнечной радиации) между контрольным прогоном климатической модели (нефорсированным) и форсированными прогонами климатической модели в ячейках модельной сетки, совпадающих с изучаемым районом;

- внесение корректировки на основании изменения значений климатических факторов в наблюдаемый климат за базовый период, используя нынешний климат, охарактеризованный периодом 1961-1990 гг., для представляющего интерес периода (или периодов) в будущем (двадцатые, пятидесятые и (или) восьмидесятые годы XXI столетия).

Сценарии, используемые для оценки, должны включать в себя как сценарии с "высоким" уровнем выбросов (приводящие к верхним пределам прогнозируемых изменений климата), так и сценарии, в которых выбросы снижаются благодаря специальным крупномасштабным программным мерам в отношении климата (предупреждение и снижение выбросов). Сценарии стабилизации относятся к таким сценариям выбросов, по которым концентрация двуокиси углерода ( $CO_2$ ) стабилизируется в определенный момент времени.

К примеру (ГОСТ Р 54139-2010), снижение выбросов, благодаря которому концентрации CO<sub>2</sub> стабилизируются к 2030 г. на уровне 750 частей на миллион, задерживает примерно на 50 лет повышение температуры, которое произошло бы к 2050 г. в случае непринятия мер по снижению выбросов.

В настоящее время существует множество сценариев направления развития климатических процессов, как для нашей страны, так и для всего земного шара. В этих сценариях, в основном, рассматривается направление изменения температуры, количества осадков и содержания углекислого газа. Они, как правило, основаны на моделях общей циркуляции атмосферы, палеоклиматической реконструкции и т.п. Среди них наиболее часто используются при моделировании такие сценарии как:

1) расчет изменений климатических показателей по стационарным моделям общей циркуляции атмосферы, которые исследуют реакцию климатической системы на удвоение содержания CO<sub>2</sub>: GFDL – модель Лаборатории геофизической гидродинамики США; UKMO – модель метеорологического бюро Соединенного Королевства.

2) расчет по нестационарной модели, в которой моделируется отклик на постепенное (как наиболее реалистичное) увеличение содержания парниковых газов на 30% (GFDL-30% – модель Лаборатории геофизической гидродинамики США).

3) сценарии с учетом изменений выбросов парниковых газов при альтернативных путях развития демографических, экономических и технологических факторов (Special report IPCC, 2000).

4) Линейная интерполяция между современной эпохой и эпохой оптимума голоцена (рекомендуется для Украины).

Существует специальный доклад МГЭИК (Межправительственной группы экспертов по изменению климата) о сценариях выбросов (СДСВ, 2000). В СДСВ – специальном докладе о сценариях выбросов сценарии выбросов сгруппированы в 4-е сценарные группы (A1, A2, B1, B2), в которых рассматриваются альтернативные пути развития, охватывающие широкий диапазон демографических, экономических и технологических движущих факторов и итоговых выбросов парниковых газов. Сценарии СДСВ не включают дополнительную политику в области климата, помимо существующей. Сюжетная линия A1 представляет мир, характеризующийся очень быстрым экономическим ростом, глобальным народонаселением, численность которого достигает максимальной величины в середине века, и быстрым внедрением новых и более эффективных технологий. A1 подразделяется на три группы, которые описывают альтернативные направления технологического прогресса: интенсивное использование ископаемых видов топлива (A1FI), энергетические ресурсы без ископаемых видов топлива (A1T) и баланс по всем источникам (A1B). B1 описывает конвергентный мир с таким же глобальным народонаселением, что и в A1, однако с более быстрыми изменениями в экономических структурах в направлении сферы обслуживания и информационной экономики. B2 описывает мир с промежуточным народонаселением и экономическим ростом, подчеркивая при этом локальные

решения проблемы экономической, социальной и экологической устойчивости. А2 описывает весьма неоднородный мир с высокими темпами роста народонаселения, медленным экономическим развитием и медленным технологическим прогрессом. Ни один из сценариев СДСВ не характеризуется какой-либо вероятностью.

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC – Intergovernmental panel on climate change) во втором отчете считала, что в XXI веке глобальная средняя температура воздуха повысится на 1,5-3,5 °С, а за 2001 г. – на 1,5-5,8 °С. По данным этой же комиссии удвоение углекислого газа в атмосфере может быть достигнуто к 2075 г.

Оценка достоверности описания климатических условий за период 1951-1980 гг. различными климатическими моделями (табл.4.37) проведенная Н.А Шумовой (2010) для лесостепной и степной зоны европейской части бывшего СССР показала, что наиболее близки к климатическим значения температуры, полученные по модели GFDL, данные модели GISS несколько занижены и имеют систематические отклонения. Наименее близки к климатическим данным значения температуры, полученные по моделям CCCM и UKMO. Что касается осадков, то здесь наблюдается довольно значительный разброс точек, при этом величины осадков, полученные по моделям GISS, CCCM и UKMO в одних случаях больше, в других меньше, но завышены. Модель GFDL дает заниженные величины осадков. Поэтому сказать однозначно какая из моделей предпочтительнее для исследуемой территории нельзя. Прогноз по всем 4-м моделям увеличения углекислого газа вдвое показал следующее ожидаемое изменение температуры воздуха и всех составляющих водного баланса (табл.4.38).

**Таблица 4.37.** Основные характеристики климатических моделей (по Н.А.Шумовой, 2010)

Климатическая модель	Разрешение (широта и долгота), град	Вертикальные уровни	Увеличение глобальной температуры при удвоении CO <sub>2</sub> , °С	Увеличение глобальных осадков при удвоении CO <sub>2</sub> , %
GISS (Goddard Institute for Space Sciences)	7,83×10,0	9	4,2	11
GFDL (Geophysical Fluid Dynamics Laboratory)	2,22×3,75	9	4,0	8,3
CCCM (Canadian Climate Center Model)	3,75×3,75	10	3,5	3,8
UKMO (United Kingdom Meteorological Office)	2,50×3,75	11	3,5	9,0

**Таблица 4.38.** Относительные величины возможного изменения температуры воздуха и элементов водного баланса в лесостепной и степной зонах (Н.А.Шумова, 2010) (в скобках даны максимальные и минимальные значения)

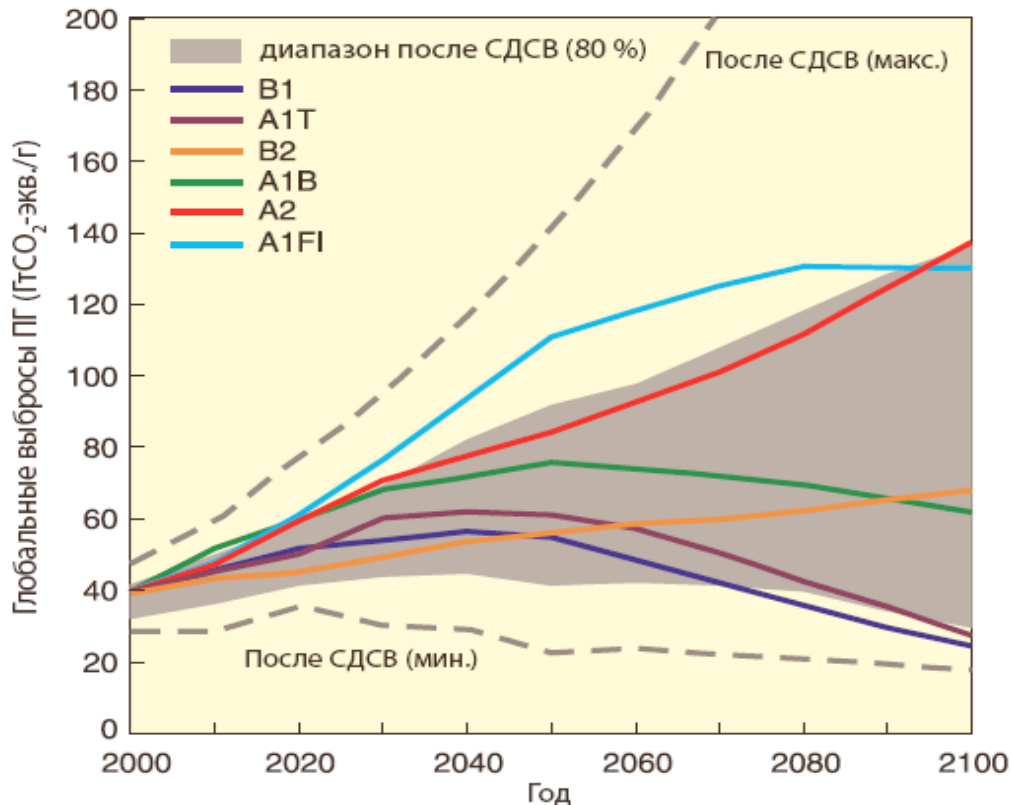
Модель	Температура	Осадки	Испарение	Сток	Урожай яровой пшеницы
GISS	1,37(1,29-1,44)	1,20(1,08-1,38)	1,25(1,16-1,34)	1,03(0,61-1,52)	+5%
GFDL	1,34(1,28-1,50)	1,13(0,92-1,26)	1,15(0,93-1,29)	0,82(0,35-1,05)	-2%
CCSM	1,38(1,30-1,51)	1,05(0,83-1,21)	1,11(0,89-1,36)	0,82(0,24-1,03)	-10%
UKMO	1,47(1,33-1,70)	1,10(0,87-1,34)	1,22(0,99-1,60)	0,77(0,28-1,07)	-2%

По результатам исследований различных сценариев изменения температуры воздуха (В.М.Хохлов и др., 2009) для Украины в период 2011-2025 гг. глобальное потепление не причинит каких-либо существенных изменений температурного режима. Исследования (С.І.Сніжко и др., 2007) показали наличие тенденции уменьшения вегетационного периода для Украины под действием глобального потепления климата (в среднем 6 дней на 100 лет). По данным (В.М.Бабіченко та інш., 2009) наблюдается устойчивая тенденция краннему переходу среднесуточной температуры воздуха через 0°C весной, что вызвано изменением положения центров действия циркуляции атмосферы и нетипичным распределением теплых воздушных масс в тропосфере. Эти же авторы отмечают наличие циклов с ранним и поздним переходом температуры воздуха относительно средней даты. С 1900 по 1933 гг. отмечается ранний переход, в следующие 60 лет – поздний, а в последние годы – опять ранний, при общем тренде в сторону ранних дат. Все это может говорить о наличии многовековых циклов, которые существующий период наблюдений пока не позволяет подтвердить достоверно.

Наиболее катастрофическим для Украины может быть сдвиг в умеренные широты северной периферии пояса субтропических антициклонов, вызванный глобальным потеплением, поскольку это может привести к необратимому процессу опустынивания южных регионов страны. Такой катастрофический эффект можно ожидать лишь когда глобальное потепление перейдет уровень 2,5-5,0 °С, т.е. при сохранении настоящей тенденции – более чем через 500 лет (Второе национальное сообщение.., 2006). На рис.4.14 представлены сценарии выбросов с 2000 по 2100 годы в случае отсутствия дополнительной климатической политики.

Результаты исследования продукционного процесса растений (Б.И.Гуляев и др., 1989 и др.) позволяют судить о влиянии повышения концентраций углекислого газа в атмосфере на фотосинтетический аппарат, химический состав биомассы, параметры роста, скорость роста, устойчивость к стрессовым условиям и др. Наиболее однозначной реакцией растений на длительное выращивание при повышенном содержании CO<sub>2</sub> в атмосфере является увеличение их листовой поверхности, уменьшение отношения площади листьев к сухой массе растения, увеличение уровня чистой продуктивности фотосинтеза и относительной скорости роста сухой биомассы, особенно в период вегетационного роста, также отмечается повышение эффективности

использования растениями воды и их устойчивости к водному стрессу. Как известно, основной прирост урожайности современных сортов яровой пшеницы связывают с увеличением размеров листьев всех ярусов (особенно верхних), уменьшением стебля и увеличением размеров флагового листа (В.В.Коломейченко и др., 2010). Повышенной концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере способствует увеличение влажности почвы, в засушливые периоды концентрация  $\text{CO}_2$  снижается. Увеличение плотности растительного полога способствует накоплению  $\text{CO}_2$  в пологе (О.Сухбат и др., 2007).



**Рис. 4.14. Глобальные выбросы парниковых газов (ПГ) (в Гт $\text{CO}_2$ -экв/г) в отсутствие климатической политики: шесть иллюстративных показательных сценариев СДСВ (цветные линии) и 80-й процентиль диапазона недавних сценариев, опубликованных после СДСВ (закрашенная серым цветом область). Прерывистые линии указывают полный диапазон сценариев после СДСВ. Выбросы включают  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{F}$  – газы. (МГЭЖИК: Изменение климата. Обобщающий доклад, 2007)**

На сегодняшний день получено немало оценок влияния глобального изменения климата на мировое сельское хозяйство, как на глобальном, так и на региональном уровне, что говорит о важности и не однозначности вопроса. Согласно анализу существующих исследований этого вопроса А.М.Полевым с соавторами (2007) в условиях Скандинавии и Исландии потепление климата должно привести к повышению уровня температурного режима за период вегетации, увеличению прихода солнечной радиации, увеличения концентрации  $\text{CO}_2$  и увеличению продолжительности периода вегетации культурной растительности. Повышение температуры и увеличение количества

осадков в северо-западной Европе приведет к росту расходов воды на суммарное испарение, существенно уменьшится продолжительность периода вегетации сельскохозяйственных культур. Сочетание повышения температуры и концентрации  $\text{CO}_2$  в условиях Нидерландов и Германии приведет к смене агроклиматических условий выращивания зерновых культур. Значительное сокращение периода вегетации при потеплении ожидается в условиях Словении, Болгарии и Австрии. В средиземноморском регионе ожидается аридизация климата. В условиях Белоруссии потепление климата приведет к ухудшению условий увлажнения почв и увеличению испаряемости. Для условий России прогнозируется значительное смещение границ природных зон на север и уменьшение продуктивности зерновых. Ожидается, что к 2030 году участятся засушливые явления в период вегетации и неблагоприятные условия переходных сезонов (весна и осень). Это приведет к увеличению потерь урожая практически всех традиционных культур. Для Украины при условии удвоения содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере температура воздуха повысится во все сезоны, наиболее существенно весной. Количество атмосферных осадков в среднем по Украине также будет увеличиваться. В отдельные сезоны это повышение может превышать 20%. В целом, для Украины ожидается увеличение общей биомассы озимой пшеницы в 1,2-1,4 раза и сдвиг сроков ее созревания на более ранние. Но в отдельных регионах (Закарпатье и Прикарпатье) ожидается уменьшение общей биомассы озимой пшеницы. Кроме того, ожидается (А.М.Польвий и др., 2007): 1) смещение сроков сева озимой пшеницы на 40-50 дней позднее, что позволит более эффективно использовать благоприятные условия осенней вегетации; 2) ожидаются более благоприятные условия перезимовки растений. Период зимнего покоя будет проходить при повышенных на 4-8 °С температурах воздуха. Сумма отрицательных температур уменьшится на более чем в 3-4 раза в сравнении с климатической нормой сумм зимних температур (за 1961-1990 гг.). Продолжительность периода зимования уменьшится на 1,5-2 месяца; 3) возобновление вегетации озимой пшеницы будет проходить более чем на месяц раньше среднегодовых сроков. Период от возобновления вегетации до колошения будет проходить при условии пониженного температурного режима (на 1-2 °С). Для Лесостепи и Степи ожидается увеличение относительной площади листьев и соответственно общей продуктивности посевов в 1,2-1,4 раза. Срок наступления фазы восковой спелости сместится в сторону более ранних сроков на один-два месяца.

Потепление климата оптимизирует характеристики экологических факторов окружающей среды для насекомых и способствует их размножению и распространению (О.П.Литвин, В.П.Федоренко, 2012). В период интенсивного потепления климата наблюдается значительное уменьшение глубины промерзания почвы (до 20-50 см). Это способствует успешной перезимовке вредителей, для которых этот период жизни был критическим. Кроме того, уменьшение ГТК способствует увеличению популяций некоторых насекомых в частности клубеньковых долгоносиков. Фитосанитарное состояние агроценозов ухудшается и этот процесс будет продолжаться, поскольку реакции биологических систем на внешние воздействия не линейны и следует ожидать



будущих экологических кризисов в агросфере. Зоны экологического оптимума будут расширяться на север, что приведет к расширению ареала и зон вредоносности основных вредителей бобовых культур (О.П.Литвин, В.П.Федоренко, 2012).

## **Глава 5. СИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ АГРОЛАНДШАФТОВ**

### **5.1. Принципы оптимизации агроландшафтов**

Основной функцией агроландшафта как природно-антропогенного комплекса является производство сельскохозяйственной продукции (см. Гл. 1). Поэтому критерием оптимальности структуры агроландшафта должна быть его продуктивность (урожайность). В настоящее время накоплено значительное количество разрозненных данных по условиям произрастания и продуктивности различных культур в различных природных зонах, т.е. существует объективная возможность объединить разрозненные данные из различных отраслей знаний для создания устойчивых и высоко продуктивных агроландшафтов на основе системы представления информации в ГИС-технологиях.

Основные блоки такой системы должны содержать следующую информацию: 1) пространственно-временные закономерности миграции веществ и энергии в агроландшафте (сток воды, смыв почвы и т.п.); 2) оптимальные погодно-климатические условия для произрастания сельскохозяйственных культур; 3) оптимальные водно-физические и агрохимические свойства почв для различных сельскохозяйственных культур; 4) оптимальное водопотребление культур; 5) оптимальная последовательность расположения культур на склоне, устойчивая к водной эрозии; 6) оптимальная структура севооборотов, дифференцированная по погодно-климатическим и почвенным условиям; 7) оптимальное сочетание элементов в агроценозе и агроландшафте (в агроценозе: пропашные – сплошного сева – пар и т.п.; а в агроландшафте: лес – луг – пашня и т.п.); 8) оптимальное сочетание биоценозов и агроценозов в отношении регулирования фауны полезных насекомых и сохранения биоразнообразия; 9) оптимальные дозы удобрений под конкретные культуры по типам почв и климатическим условиям; 10) урожайность сельскохозяйственных культур на различных почвах в богарных условиях и при орошении.

Перечисленная информация должна выступать в качестве объективных условий-ограничений при определении оптимальной структуры агроландшафта на различных уровнях обобщения: для всей территории Украины, области, района или отдельного хозяйства. Дифференциация территории на различные ландшафтные таксоны подчиняется смене условий миграции веществ и энергии. Для возможности установления устойчивых взаимосвязей пространственно-временной миграции веществ и энергии в агроландшафте, удобно рассматривать агроландшафтную систему совместно с водосборным бассейном. Совместимость продуктивности сельскохозяйственных культур с параметрами функционирования речного бассейна может быть достигнута на уровне разновидностей почв. Аппаратом оптимизации изучаемой системы могут служить методы математического программирования (в частности симплекс-метод). Дифференциация информации по территории позволит получить районирование территории по особенностям оптимальной структуры агроландшафтов. Предлагаемая работа может быть выполнена путем широкого

применения картографических, гидрометеорологических, почвенных, агрономических и иных материалов.

Алгоритмом оптимизации исследуемой системы могут служить разные методы математического моделирования, в том числе методы математического программирования, имитационная оптимизация и и́нш.

К примеру: нужно определить состав посевных площадей на определенной территории (известны почвенные разности, климатические показатели и т.п.). Обозначим  $X_i$  – площади под культурами,  $C_i$  – урожайность культур или прибавка урожая.

Целевую функцию можно представить следующим чином:

$$C_1X_1+C_2X_2+\dots+C_nX_n \rightarrow \max$$

Система ограничений будет включать у себя:

1) ограничение по используемой площади:

$$X_1+X_2+\dots+X_n = F \text{ (заданная величина площади);}$$

2) ограничение по количеству осадков:

$$K_1X_1+K_2X_2+\dots+K_nX_n \leq OF,$$

где  $OF$  – количество осадков, которые характерно для периода вегетации или другого критического для растений периода;  $K_i$  – необходимое количество осадков или воды для роста растения в соответствующий период;

3) ограничение по сумме активных температур:

$$\sum t_1X_1 + \sum t_2X_2 + \dots + \sum t_nX_n \leq \sum t_0,$$

$\sum t_i$  – сумма активных температур для роста растения за определенный период;

$\sum t_0$  – сумма активных температур, которая характерная для данной территории.

4) ... и так далее.

Коэффициенты  $C_i$  (урожайность культур или прибавка урожая) целесообразно связать со свойствами почв, что позволит полнее учитывать особенности почвенных разностей. Целесообразно также ввести ограничение на последовательность размещения культур во времени. Для регулирования фауны насекомых, целесообразно направлять структуру посевов и многолетних насаждений в сторону биоразнообразия, и чередования в пространстве и времени растений с разными требованиями относительно воды, почвы и т.п., и имеющих разных вредителей и болезни.

В результате реализации предлагаемой системы пользователь может, как оценить продуктивные особенности интересующей его территории, так и установить оптимальную структуру хозяйственного использования агросистемы.

## **5.2. Речные бассейны, как территориальная единица при оптимизации агроландшафтов**

Выбор территориальной единицы для проведения анализа территории является важнейшим вопросом при оптимизации агроландшафтов. С этой целью используют различные подходы (см. раздел 4.3): 1) В качестве территориальной единицы используют административное деление территории (наиболее обеспечено экономическими показателями и наименее

приробообусловлено. 2) В качестве территориальной основы используют ландшафтное районирование (наиболее природообусловлено, наименее обеспечено разнообразной количественной информацией и не для всех административных единиц разработано, как правило, существует на уровне стран и отдельных областей). 3) Использование в качестве территориальной основы бассейны рек (природообусловлено, хорошо обеспечено физико-географической, гидрологической информацией, не обеспечено экономической информацией).

Первый подход наиболее грубый и может использоваться в качестве оценочного, второй требует значительных затрат времени на переработку информации, третий требует переработки, в основном, экономической информации и является наиболее оптимальным из перечисленных.

Как сказано выше, основной производственной функцией агроландшафтов является производство сельскохозяйственной продукции, то основным критерием её оптимальности является урожайность или продуктивность при ограничениях экологического характера.

Адаптировать речной бассейн с характеристиками урожайности возможно на уровне почвенных разностей. В каждом речном бассейне определяется процентное распределение разновидностей почв и затем, зная урожайность отдельных культур на соответствующих разновидностях почв, определяется, пропорционально распределению почв, урожайность сельскохозяйственных культур на водосборе. По речным же водосборам имеется детальная гидрографическая информация, гидрологическая и гидрохимическая информация, метеорологическая информация. Используя процентное распределение почв, можем получить средневзвешенные характеристики почвенного покрова водосбора (агрохимические, водно-физические и пр.).

Использование столь разнообразной информации позволяет создать более гибкие модели урожайности сельскохозяйственных культур, позволяющие выявить наиболее оптимальное сочетание факторов и на их основе проводить районирование территории.

Проведенные исследования для Степи Украины (см. Гл.6) показали, что относительная влажность воздуха в большей степени лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур, чем атмосферные осадки, высота водосбора на равнине также оказывает влияние на урожайность сельскохозяйственных культур, а не только в горах. Так, для озимой ржи и ячменя критической высотой водосбора является 195 м над уровнем моря при большей высоте водосбора урожайность падает, для картофеля – 242 м. С ростом максимального модуля стока урожайность картофеля растет. Увеличивается урожайность картофеля и до густоты речной сети равной  $0,396 \text{ км/км}^2$ , при дальнейшем увеличении изрезанности территории урожайность падает.

### **5.3. Технология оптимизации агроландшафтов**

Оптимизация агроландшафтов это одна из разновидностей оптимизации природопользования в данном случае на территории, подверженной сельскохозяйственному производству. Основой оптимизации агроландшафтов, как и любого другого объекта является системный подход. Реализация оптимизации агроландшафтов должна быть основана на последовательном применении комплекса математических методов анализа и обработки материалов наблюдений. В частности, последовательность математического анализа может быть следующей:

1. Представление информации в количественном виде.
2. Корреляционный анализ.
3. Сортировка по степени значимости коэффициентов корреляции.
4. Многофакторный регрессионный анализ (нелинейные модели).
5. Анализ адекватности полученных моделей по нескольким критериям.
6. Районирование.
7. Составление алгоритма оптимизации (последовательность причинно-следственных связей в агроландшафте);
8. Оптимизация (симплекс-метод или др.).

Представление информации в количественном виде подразумевает в себе: 1) данные многолетних наблюдений; 2) данные распределенные по площади; 3) осредненные данные.

Данные, распределенные по площади включают в себя: 1) характеристику почвенного покрова; 2) урожайность культур по разновидностям почв; 3) распределение почв по бассейнам рек; 4) пересчет урожайности и характеристик почвенного покрова на бассейны рек на основе процентного распределения почв в бассейне; 5) виды лесных полос и их процентное распределение в бассейнах; 6) гидрографические характеристики бассейнов рек (высота водосбора, площадь водосбора, густота речной сети и т.п.) и т.п.

В данном случае принимается, что потоки вещества и энергии в агроландшафтной системе удобнее рассматривать в системе речного водосбора с целью возможности учета комплексных характеристик стока рек. Поэтому все материалы наблюдений приводятся к водосборному бассейну.

### **5.4. Оптимизация водного баланса территории**

Важнейшим компонентом функционирования любой территории является ее водный режим. Он обеспечивает перераспределение потоков вещества и энергии в природно-территориальной системе и объединяет ее этими потоками. Оптимизацию водного режима удобно проводить на основе установления балансовых соотношений между составляющими водного баланса территории (см. раздел 3.3). Изменение какого-либо из составляющих баланса приводит к отклонениям в соотношениях всего баланса. Важно установить эти соотношения между составляющими баланса. К примеру, между количеством осадков и стоком, количеством осадков и испарением, стоком поверхностным и

стоком подземным, транспирацией и испарением и т.п. Также важным является установка направления оптимизации. Вопрос стоит следующим образом: на максимум или на минимум должна быть направлена целевая функция? Максимальным или минимальным должен быть сток с данной территории? Для обеспечения эрозионной защиты и уменьшения высоты паводков для большинства территорий сток требуется уменьшить, но тогда следует ожидать заиления малых рек, снижения объемов воды в реках, т.е. уменьшения их самоочищающей способности, увеличения испарения, подтопления части территорий и т.п. Таким образом, целевая функция оптимизации водного баланса территории должна быть направлена на максимум, при ограничениях экологического и практического характера: забор воды не должен превышать критический (может быть определен перебором возможных значений), запасы почвенной влаги должны отвечать потребностям выращиваемых культур, делаются ограничения на соотношение между транспирацией и осадками, инфильтрацией и осадками и т.п.

Конечно, в такой системе ведущим фактором будет количество осадков. Зная прогноз их изменения или же моделируя ход их изменения, можно подбирать наиболее рациональный состав культур для возделывания, систему севооборотов для данной территории, планировать перевод стока во внутрпочвенный и, наоборот, с помощью различных гидротехнических и мелиоративных мероприятий для регулирования паводков и предотвращения эрозии. Прогнозы температурных аномалий также могут быть использованы для уменьшения величины испарения и подбора культур с определенными требованиями к теплу.

Построение оптимизационных моделей водного баланса территории возможно на различных уровнях: для территории вообще, без учета послойного строения территории, т.е. рассматривая баланс на поверхности; с учетом слоистости почвенно-грунтовой толщи и рассмотрения распределения влаги на разных почвенно-грунтовых горизонтах и т.п. ; для водосборного бассейна и для отдельного участка земной поверхности или толщи, открытого со всех сторон на вход и на выход вещества и энергии.

Проверку на адекватность таких оптимизационных моделей целесообразно проводить по материалам многолетних наблюдений за составляющими водного баланса, опубликованными в изданиях государственного водного кадастра, метеорологических и агрометеорологических ежегодниках и т.п.

К примеру, уравнение водного баланса можно записать в следующем виде:

$$X=Y-E-T-Z-U-P-W,$$

где X – количество осадков, Y – сток воды, E – испарение непродуктивное (с поверхности почвы и водных объектов), T – транспирация растениями, Z – забор воды на хозяйственные нужды, U – задержание воды в депрессионных понижениях на поверхности водосбора, P – переход воды в подземные воды, W – влагозапасы почвы.

В систему ограничений будут входить:

$X - Y > 0$ ;  $Y = k_1 X$ ;  $U = k_2 X$ ; ... ( $k_i$  – коэффициенты соотношений между составляющими баланса);  $E + T \leq E_0$  ( $E_0$  - испаряемость);  $0,6НВ \leq W \leq 0,8НВ$  ( $НВ$  – наименьшая влагоемкость почвы) и т.п.

В качестве математического аппарата целесообразно использовать методы математического программирования, в частности симплекс-метод.

Применение оптимизационных методов в прогнозировании изменения водного баланса территории позволяет использовать широкий спектр количественной и качественной информации по состоянию исследуемой территории, в том числе и экологического характера и применять результаты для решения широкого спектра проблем.

## **Глава 6. ОПТИМИЗАЦИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ СТЕПИ УКРАИНЫ**

### **6.1. Пространственно-временные модели функционирования агроландшафтов степи Украины**

#### **6.1.1. Продуктивность агроценозов в зависимости от агрофизических свойств почв**

В настоящее время накоплено значительное количество разрозненных данных по условиям произрастания и продуктивности различных культур в различных природных зонах, т.е. существует объективная возможность объединить разрозненные данные из различных отраслей знаний для создания устойчивых и высоко продуктивных агроландшафтов. Одним из первых этапов на пути создания таких систем является выявление взаимосвязей в природно-антропогенных системах разных уровней (рис.1.2). Поскольку большая часть поверхности Украины распахана, то основной разновидностью ландшафтов здесь является агроландшафт (рис.1.1), представляющий собой комплекс природных и антропогенных составляющих, основной производственной функцией которых является производство сельскохозяйственной продукции. Поэтому критерием оптимальности структуры агроландшафта должна быть его продуктивность (урожайность). Основную производственную функцию в агроландшафте выполняют агроценозы – собственно сельскохозяйственные поля, сады и т.п., которые поставляют основную долю продукции в агроландшафте.

Урожайность сельскохозяйственных культур и продуктивность диких растений зависит от множества влияющих факторов, представленных в различных сочетаниях, что также оказывает влияние на конечный результат. По данным (А.И.Буджерак и В.К.Бердинец, 1994) процентный вес антропогенных факторов в формировании урожая распределяется следующим образом: удобрения – 41%, гербициды – 15-20%, обработка почвы – 15%, семена – 8%, ирригация – 5% и другие – 11-18%. Существует множество различных эмпирических моделей урожайности отдельных культур от влияющих факторов, адаптированных к конкретным целям исследований (К.Б.Гіржева, 2006; В.Т.Потипака, 1991 и др.) (см.Гл.4). Точность аппроксимации большинства моделей достаточно высока. Для объективного суждения о достаточности полученной точности аппроксимации необходимо знать точность измерения характеристик урожайности, продуктивности. В соответствии с В.Н.Перегудовым и И.С.Бабориной (1968) точность измерения урожайности: для озимой пшеницы 3,5-2,5%, озимой ржи – 4,2%, кукурузы на зерно – 3,8-3%, кукурузы на силос – 4,3-2,9%, сахарной свеклы 3,8-1,0%, картофеля 3,9- 3,2%, яровой пшеницы 4,1-2,7%.

Абсолютные ошибки измерения урожайности по данным тех же авторов составляют: для яровой пшеницы 0,5 ц/га, озимой пшеницы 0,9ц/га, озимой ржи 0,9 ц/га, кукурузы на зерно 1,3 ц/га, кукурузы на силос 12,4 ц/га, сахарной свеклы 12,3 ц/га, картофеля 7,7 ц/га.

В задачу наших исследований входило определение эмпирико-статистических взаимосвязей в агроценозах, которые бы позволили проводить



интерполяцию данных в пространственно-временном аспекте для выявления возможностей функционирования и продуктивности агроландшафтов любых территорий.

Для решения поставленных задач нами проведен анализ взаимосвязей в агроценозах Степи Украины. Для возможности более корректного сравнения результатов различных опытов, а также с целью выявления природного потенциала почв, нами проведена выборка урожайности различных культур на различных почвенных разностях без внесения удобрений и без орошения (С.В.Буднік та інш., 2000, 2008) (табл.6.1-6.3). На некоторых почвенных разностях, выделенных на территории Степи Украины, выращивание отдельных культур не проводилось, что связано, как с климатическими особенностями территории, с традиционным укладом земледелия, так и с локальностью размещения научно-исследовательских организаций.

На основе выборочных и осредненных материалов наблюдений были построены многофакторные зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от водно-физических и агрохимических свойств почв. Характеристики почв выбирались для верхнего 0-30 см слоя почвы. Точность аппроксимации исходных данных достаточно высока 4-12%.

Корреляционные отношения урожайности сельскохозяйственных культур в агроценозе с различными характеристиками свойств почвенных разностей, представлены в табл.6.4. Наибольшую корреляционную зависимость десять рассматриваемых сельскохозяйственных культур (озимая рожь, ячмень, картофель, гречиха, сахарная свекла, горох, овес, кукуруза на зерно, кукуруза на силос, кукуруза на зеленый корм) показывают с такими факторами как водопроницаемость почв, диапазон активной влаги, дисперсность по Качинскому и  $pH_{водн}$ . Низкие корреляционные отношения с содержанием гумуса в почве объясняются наличием оптимумов, т.е. зависимость не прямая, имеется точка перегиба кривой, что характерно и для других почвенных характеристик, что также отмечается в работе (Оптимальные параметры плодородия..., 1984).

Для всех культур строились эмпирические зависимости урожайности от влияющих факторов методом Брандона (последовательного исключения факторов), путем перебора сочетаний наиболее влияющих факторов определялись модели наиболее соответствующие исходным данным (табл.6.5). Значимость влияния факторов на урожайность различных культур различна, адекватность аппроксимации данных также отличается. Так, из рассматриваемых свойств почв, содержание гумуса наибольшее влияние оказывает на урожай сахарной свеклы и кукурузы на силос, дисперсность – на урожай ячменя, гороха и кукурузы на зерно.  $pH_{водн}$  практически не оказывает влияние на урожай овса.

Полученные зависимости можно использовать для прогнозирования урожайности исследуемых агроценозов и выбора мероприятий, позволяющих регулировать соответствующие свойства почв данного агроценоза с целью увеличения его продуктивности.

**Таблица 6.1.** Агрофизические характеристики поверхностного (0-30 см) слоя почвы (из литературных источников)

Почва	Гумус, %	Общая пористость, %	Аэрация, % при НВ	НВ, %	ВЗ, %	ДАВ, %	Водопроницаемость мм/мин	Дисперсность по Качинскому
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Дерново-слабоподзолистые песчаные и глинисто-песчаные	2,36	42	29	13	1,6	11,4	1,78	19,5
Дерновые преимущественно глеевопесчаные, глинисто-песчаные и супесчаные почвы в комплексе со слабо гумусированными песками	4,0	59,4	12,5	39,5	10,8	28,7	1,4	15,1
Дерновые песчаные и глинисто-песчаные преимущественно не оглеенные в комплексе со слабо гумусированными песками и черноземными почвами	1,5	48,5	33	9	3	6	5	19
Дерновые щербенистые на элювии щербенистых некарбонатных породах (песчаников и сланцев)	4	50,8	11,7	24,1	5,4	18,7	0,63	8
Дерновые карбонатные почвы на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	3,6	55,0	26	29	14,3	14,7	0,45	7
Дерновые осолоделые глеевые почвы и солоды	2,5	50	20	30	19,4	11	0,1	15,4
Черноземы обыкновенные мало и средне гумусированные глубокие	6	57	27	30	13,9	16,1	6,28	4,2
Черноземы обыкновенные среднегумусные	5,8	56	27	29,3	13,4	15,9	4,27	4,5
Черноземы обыкновенные малогумусные	5	56	27	29,3	13,4	15,9	4,27	4,5
Черноземы обыкновенные малогумусные неглубокие	4,3	55	24	31,0	14	17	3,32	4,8
Черноземы обыкновенные высоко мицелярно-карбонатные	3,8	54	25	25,8	12,6	13,2	2,65	7,0
Черноземы обыкновенные поверхностно мицелярно-карбонатные	5,7	57	27	29,7	13,3	16,4	4,37	4,8
Черноземы южные малогумусные и слабогумусированные	3,5	54	27	27	11,4	16	0,69	7,5
Черноземы щербенистые на элювии щербенистых некарбонатных пород (песчаник, сланцы)	3,4	45	24,2	30	12,9	17,1	1,46	8,9

Продолжение табл.6.1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Черноземы карбонатные на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	4,7	61,4	29	36,2	14,5	21,7	1,5	9,9
Черноземы преимущественно солонцовые на тяжелых глинах	3,8	53,8	25	28	12,9	15	0,25	6,4
Черноземы на тяжелых глинах	3,3	50	21,7	25,2	11,5	13,7	0,38	9,3
Черноземы типичные средне суглинистые	4,6	52	13	31,4	10,2	21,1	1,37	9
Черноземы типичные средне гумусные	6,0	60,1	28,6	30,0	13,5	16,5	2,18	6
Черноземы оподзоленные	3,0	54	23	26,2	11,3	14,9	1,34	9
Черноземы реградированные	3,3	55	23	27,8	11,2	16,6	0,03	5
Темно-каштановые остаточно солонцеватые	2,9	53	24	29	13,7	15	0,8	7,5
Солонцы преимущественно солончаковые	3,0	48	21	27	13,9	13	0,3	26
Светло-серые оподзоленные	2	48	22	20,2	5,5	14,7	0,2	22,3
Серые оподзоленные	2	49	15	26,2	5,8	20,4	0,34	13,7
Темно-серые оподзоленные	2,3	51	18	24,5	8,3	16,2	0,7	5
Темно-серые реградированные	2,9	51	23	25,8	7,4	18,4	0,7	11
Луговые на элювиальных и делювиальных отложениях	4,8	66,5	12,5	38,2	17,2	21,0	0,72	8,5
Луговые солонцеватые на элювиальных и делювиальных отложениях	4,7	52	24	28	13,8	14	1,0	7,0
Лугово-черноземные	4,7	60,1	31,1	28,2	10,5	17,7	0,75	4,1
Лугово-черноземные глубоко солонцевые	1,2	52	26,4	24,1	11,4	12,7	0,57	18,6
Лугово-черноземные осолоделые глеевые почвы и солоды	2,8	52	23	29	14,7	14	0,28	12,4
Лугово-болотные	5,4	68,3	18	53,2	15,3	37,9	0,04	28,1
Болотные	6,4	71,7	13	137	19,8	116	0,92	27,3

**Таблица 6.2.** Агрохимические характеристики поверхностного (0-30 см) слоя почвы (из литературных источников)

Почва	рН водная	рН солевая	Валовые,%			Подвижные, мг/100г			Сумма поглощенных оснований, мг- экв/100г	Степень насыщения основаниями,%
			N	P	K	N	P	K		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дерново-слабоподзолистые песчаные и глинисто-песчаные	6,6	5,2	0,053	0,065	1,5	8,65	6,7	12,3	3,2	64
Дерновые преимущественно глеевопесчаные, глинисто-песчаные и супесчаные почвы в комплексе со слабо гумусированными песками	5,9	5,4	0,132	0,063	1,66	8,9	4,8	12,4	1,40	67
Дерновые песчаные и глинисто-песчаные преимущественно не оглеенные в комплексе со слабо гумусными песками и черноземными почвами	6,6	4,7	0,037	0,049	0,75	1,21	1,01	0,96	2,93	34
Дерновые щебенистые на элювии щебнистых некарбонатных породах (песчаников и сланцев)	7,3		0,05	0,014	2,09	1,42	11,9	20,2	15,0	
Дерновые карбонатные почвы на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	7,3	7,3	0,25	0,12	1,09	3,29	2,5	6,5	20,8	100
Чернозем выщелоченный		5,9	0,13	0,115	2,33	12,5	24	8	24,4	96
Дерновые осолоделые глеевые почвы и солоды	6,7	4,7	0,48	0,23	0,001	9,4	4,1	6,77	29,3	75,5
Черноземы обыкновенные мало и средне гумусные глубокие	6,95	6,6	0,29	0,105	2,0	7,8	6,45	11,2	36,8	94,5
Черноземы обыкновенные среднегумусные	7,0	6,9	0,29	0,193	2,0	5,0	12,2	18,7	46,5	96,5
Черноземы обыкновенные малогумусные	7,2	6,1	0,245	0,13	2,17	5,45	13,2	11,5	29,4	94,5
Черноземы обыкновенные малогумусные неглубокие	7,2	6,1	0,215	0,155	2,0	7,8	10,5	26,4	33,4	96,2
Черноземы обыкновенные высоко мицелярно-карбонатные	7,6	6,8	0,20	0,125	1,77	12,9	8,5	27,5	44,8	99,0
Черноземы обыкновенные поверхностно мицелярно- карбонатные	7,6	7,3	0,2	0,125	2,01	34,7	8,5	27,5	39,5	99,0

Продолжение табл.6.2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Черноземы южные малогумусные и слабогумусированные	7,2	6,4	0,155	0,13	2,01	15,3	9,45	21,6	33,8	94,8
Черноземы щебенистые на элювии щебнистых некарбонатных пород (песчаник, сланцы)	6,6	5,2	0,15	0,092	2,06	6,55	2,0	27,3	26,7	
Черноземы карбонатные на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	8,1	7,4	0,244	0,125	1,46	6,76	12,0	25,0	41,5	98,3
Черноземы преимущественно солонцовые на тяжелых глинах	8,0	5,6	0,177	0,115	1,7	6,35	9,6	38,3	39,7	92,4
Черноземы на тяжелых глинах	6,9	7,0	0,21	0,1	2,19	7,0	17,7	22,7	37,0	94,6
Черноземы типичные средне суглинистые	6,8	6,2	0,275	0,18	2,15	16,3	8,6	11,5	28	95,0
Черноземы типичные средне гумусные	7,3	6,3	0,275	0,15	2,35	8,73	11,5	17,5	31,6	94,3
Черноземы оподзоленные	5,3	6,1	0,12	0,16	2,11	12,3	10,7	9,4	23,9	89,1
Черноземы реградированные	6,4	6,3	0,163	0,122	1,08	19,6	12,3	10,0	28,3	99,8
Темно-каштановые остаточно солонцеватые	7,3	6,8	0,14	0,11	2,27	3,8	12,9	8,55	27,6	96,9
Солонцы преимущественно солончаковые	7,5	7,9	0,165	0,085	2,1	7,6	17,0	6,10	17,2	80,9
Светло-серые оподзоленные	4,4	5,5	0,121	0,078	1,74	4,65	6,3	3,5	15,0	76,9
Серые оподзоленные	4,8	5,3	0,13	0,09	1,85	7,6	20,0	11,2	16,8	82,4
Темно-серые оподзоленные	5,2	6,0	0,14	0,164	1,87	7,4	14,0	12,3	21,2	86,2
Темно-серые реградированные	7,2	6,0	0,18	0,11	1,90	5,4	11,5	13,5	25,0	93,8
Луговые на элювиальных и делювиальных отложениях	7,9	6,7	0,20	0,115	2,13	8,3	11,0	7,5	24,6	93,0
Луговые солонцеватые на элювиальных и делювиальных отложениях	8,2	7,0	0,39	0,24	1,90	9,1	7,1	16,0	28,0	35,4
Лугово-черноземные	6,2	6,6	0,25	0,20	1,57	4,5	6,8	21,7	21,7	93,0
Лугово-черноземные глубоко солонцевые	8	7,4	0,18	0,12	1,39	6,4	1,25	30,2	36,9	50,5
Лугово-черноземные осолоделые глеевые почвы и солоды	4,6	5,0	0,27	0,16	2,21	5,0	4,9	21,7	32,9	92
Лугово-болотные	7,6	5,7	0,225	0,245	1,73	8,5	8,0	7,5	35,0	
Болотные	7,4	5,2	3,08	0,34	0,09	16,3	12,4	13,8	24,5	52,2

**Таблица 6.3.** Урожайность сельскохозяйственных культур на богаре без удобрений, ц/га (из литературных источников)

Почва	Озимая пшеница (зерно)	Озимая рожь (зерно)	Ячмень (зерно)	Сахарная свекла	Горох (зерно)	Картофель	Гречиха (зерно)	Кукуруза			Подсолнечник (зерно)
								зерно	силос	зелен. масса	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Дерново-слабоподзолистые песчаные и глинисто-песчаные	22,3	17,2	11,6	189,5	9,2	113	14,6	32,9	193,5	257,7	
Дерновые преимущественно глеевопесчаные, глинисто-песчаные и супесчаные почвы в комплексе со слабо гумусированными песками	10,2	28,1	18,2	386,9	25,5	147,5	2,6	66,6	329	321,1	
Дерновые песчаные и глинисто-песчаные преимущественно не оглееные в комплексе со слабо гумусированными песками и черноземными почвами	9,2	45,7	6,4	233,8	12,8	133,5	13,4	52,3	(89)	226,7	
Дерновые щепенистые на элювии щепенистых некарбонатных породах (песчаников и сланцев)	10	24,8	31,5	209,5	15,9	122,1	6,3	27,5	315,6	300	
Дерновые карбонатные почвы на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	10	13,9	14,8	212	18,4	125,3	7,8	24,4	253	268	
Дерновые осолоделые глеевые почвы и солоди		18,8	23,8	300	17,5	145,8	11,5	39,1	316,9	233,3	16,8
Черноземы обыкновенные мало и средне гумусированные глубокие	13,2	12,4	3,6	148,5	17,6	118,7	16,6	20,1	192,5		
Черноземы обыкновенные среднегумусные	24,5	29,9	29,8	383	24,1	178,9	9,9	31,2	35,4	264,9	16,0
Черноземы обыкновенные малогумусные	24,4	17,5	24	255,2	17,6	164,5	9,7	33,9	71	227	21,2
Черноземы обыкновенные малогумусные неглубокие	21,4	17,7	22,6	230,4	19,2	171,1	7,8	30,5	250	268	20,0
Черноземы обыкновенные высоко мицелярно-карбонатные	21	14,5	14,6	193,9	19,3	163,6	5,8	35,3	169,5	227	20,0
Черноземы обыкновенные поверхностно мицелярно-карбонатные	20	16,2	22,7	210,7	15,1	145,8	7,5	32,5	164,4	306	21,4
Дерново-слабоподзолистые песчаные и глинисто-песчаные	20	18,8	22,7	267,3	18,0	151,5	8,9	29,9	83,7	272,8	
Черноземы южные малогумусные и слабогумусированные	17,2	16,4	15,6	243,7	16,3	114,6	5,8	32,3	464,8	251,5	10,8

Продолжение табл.6.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Черноземы щебенистые на элювии щебнистых некарбонатных пород (песчаник, сланцы)	24,3	16,0	16,0	220,1	18,2	138,4	6,4	34,5	233,8	271,3	
Черноземы карбонатные на элювии карбонатных пород (мергель, мел, известняк)	10,7	19,8	23,3	248	17,3	99,8	3,4	38,7	292	196	11,0
Черноземы преимущественно солонцовые на тяжелых глинах	16,4	13,3	12,6	136,5	16,5	132	7,6	18	102,5	355,7	15,5
Черноземы на тяжелых глинах	5,1	16,9	10,9	206,5	17,5	136,2	6,1	28,8	235,3	279	18,9
Черноземы типичные средне суглинистые	31,8	23,8	24,9	244	18,6	144,2	5,8	42,5	298,3	326	20,3
Черноземы типичные средне гумусные	29,3	13,9	19,7	247,2	18,6	144,2	9,7	42,3	274	267,4	
Черноземы оподзоленные	21,1	18,3	23,8	311,5	21,2	179,7	6,6	41,5	307,9	217,3	
Черноземы реградированные	15,5	12,68	34,6	235	28,3	98	16,0	52,7	400	241,5	17,9
Темно-каштановые остаточо солонцеватые	13,4	14,5	11,6	221	17,4	138,8	7,8	16	142	183,5	
Солонцы преимущественно солончаковые	5,1	3,25	4,3	127	1,4	105,2	9,7	2,0	171,6	84,5	
Светло-серые оподзоленные	16,4	17,3	5,76	214,8		80	3,0	53,9	178,5	447	
Серые оподзоленные	14,7	23,9	22,8	281,5	16,9	150,5	13,3	39,3	177,7	274	
Темно-серые оподзоленные	17,6	18,9	18,7	302,8	20,1	171	5	58,6	198,9	301,7	
Темно-серые реградированные	12,5	21,34	17,2	258,5	14,9	135,6	6,7	29,7	221,2	278	
Луговые на элювиальных и делювиальных отложениях	28	18,8	23,1	167,7	23,1	82,7	2,7	47,6	261	283	
Луговые солонцеватые на элювиальных и делювиальных отложениях	5,8	13,5	13,8	204,3	13,8	115,9	8,9	16,8	181,9	280,6	
Лугово-черноземные	28,3	12,7	17	253,7	22,3	129,2	7,4	18,5	330	254,6	17,2
Лугово-черноземные глубоко солонцевые	14,7	12,3	2,86	337,8	8,2	109,2	10	17,7	31,3	263,2	
Лугово-черноземные осолоделые глеевые почвы и солоди	20,8	16,5	7,1	231,7	17,8	135,0	8,87	30,7	261	308	
Лугово-болотные	12	9,5	6,14	309,9	11,67	56,4	2,54		305,4		
Болотные (осуш)	19,8	19,9	19,5		0,14	84,7	1,22		142,7	221,9	

**Таблица 6.4.** Корреляционные отношения урожайности сельскохозяйственных культур в агроценозе с влияющими факторами

Фактор	Озимая рожь	Ячмень	Кукуруза на зерно	Кукуруза на силос	Кукуруза на зеленый корм	Сахарная свекла	Горох	Овес	Картофель	Гречиха
Содержание гумуса в 0-30 см сое почвы, %	0,42	0,34	0,31	0,64	0,56	0,61	0,38	0,15	0,14	0,12
Общая пористость, %	0,14	0,47	0,12	0,32	0,38	0,34	0,75	0,49	0,58	0,39
Аэрация при наименьшей влагоемкости, %	0,61	0,22	0,29	0,15	0,39	0,09	0,67	0,40	0,36	0,09
Наименьшая влагоемкость, %	0,18	0,29	0,07	0,36	0,35	0,25	0,70	0,54	0,44	0,63
Влажность завядания, %	0,32	0,32	0,45	0,34	0,57	0,37	0,73	0,59	0,57	0,27
Диапазон активной влаги, %	0,68	0,55	0,38	0,41	0,31	0,30	0,73	0,71	0,39	0,16
Водопроницаемость почвы, мм/мин	0,33	0,71	0,39	0,62	0,83	0,53	0,74	0,36	0,46	0,69
Дисперсность по Качинскому	0,48	0,51	0,56	0,35	0,31	0,43	0,76	0,27	0,57	0,36
pHводн	0,56	0,38	0,48	0,25	0,80	0,35	0,27	0,34	0,54	0,36
Значимое корреляционное отношение при уровне значимости $\alpha=5\%$	0,5324	0,4329	0,4555	0,4973	0,5324	0,4821	0,576	0,6319	0,5139	0,6319



**Таблица 6.5.** Адекватность моделей урожайности сельскохозяйственных культур исходным данным

Сельскохозяйственная культура	Последовательность факторов в модели в порядке убывания значимости	Адекватность модели*			
		Е, %	Е <sub>1</sub> , ц/га	r	s/σ
Озимая рожь	дисперсность по Качинскому D, диапазон активной влаги DAB, наименьшая влагоемкость НВ, рНводн, водопроницаемость Сb, влажность завядания ВZ, аэрация при наименьшей влагоемкости Ar, содержание гумуса Gm, общая пористость Op	9,87	0,52	0,94	0,35
Ячмень	D, DAB, ВZ, Сb, Op, рНводн, Gm, Ar	7,59	0,46	0,96	0,27
Кукуруза на зерно	D, рНводн, Сb, НВ, Ar, ВZ, Op, Gm	22,0	1,84	0,83	0,57
Кукуруза на силос	Gm, Сb, DAB, рНводн, Ar, ВZ, НВ	15,5	11,8	0,86	0,51
Кукуруза на зеленый корм	Сb, DAB, рНводн, Op, Ar, D, НВ	7,42	7,2	0,91	0,42
Сахарная свекла	Gm, D, Сb, ВZ, рНводн, Ar, DAB, НВ, Op	11,3	8,32	0,88	0,48
Горох	D, Сb, рНводн, НВ, Gm, Op, DAB, ВZ	5,14	0,45	0,96	0,29
Овес	DAB, Сb, НВ, Ar, D, Op, ВZ	4,9	0,48	0,98	0,20
Картофель	Op, Сb, рНводн, Ar, DAB, D, Gm, НВ, ВZ	8,4	3,63	0,92	0,39
Гречиха	НВ, Gm, Сb, DAB, ВZ, рНводн, Ar	6,58	0,35	0,97	0,24

\* Е – относительная ошибка модели, %; Е<sub>1</sub> – абсолютная ошибка модели; r – коэффициент множественной корреляции; s/σ – критерий качества (критерий Гаусса)

### 6.1.2. Эмпирико-статистические взаимосвязи в агроландшафте и районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур

На основе выборочных и осредненных материалов наблюдений (табл.6.1-6.3) были построены многофакторные зависимости урожайности сельскохозяйственных культур от водно-физических и агрохимических свойств почв. Характеристики почв выбирались для верхнего 0-30 см слоя почвы. Точность аппроксимации исходных данных достаточно высока 4-12%,

Как уже было сказано выше влияние пространственно-временной миграции веществ и энергии в агроландшафте на его продуктивность удобно рассматривать в границах водосборных бассейнов. Здесь продуктивность агроландшафта можно рассчитывать через процентное распределение почв на бассейнах. Поскольку агроландшафт состоит не только из агроценозов, но и из лесных полос, естественных кормовых угодий, лесов, водоемов и т.п. урожайность агроценозов обеспечивается взаимодействием всей совокупности ценозов в данном бассейне.

Корреляционные отношения урожайности сельскохозяйственных культур в агроландшафте с различными характеристиками свойств почвенных разностей, климатическими характеристиками территории, гидрографическими характеристиками бассейна и модулем максимального стока воды в бассейне представлены в табл.6.6. Наибольшую корреляционную зависимость шесть рассматриваемых сельскохозяйственных культур (озимая рожь, ячмень, картофель, гречиха, сахарная свекла, горох) показывают с такими факторами как содержание гумуса в 0-30 см слое почвы, водопроницаемость почв и относительная влажность воздуха. На урожайность гречихи исследуемые 25 факторов вообще влияют слабо, корреляционные отношения здесь значимы только с содержанием гумуса, относительной влажностью воздуха и площадью водосбора.

Для всех культур строились эмпирические зависимости урожайности от влияющих факторов методом Брандона (последовательного исключения факторов), путем перебора сочетаний наиболее влияющих факторов определялись модели наиболее соответствующие исходным данным.

Для определения урожайности **озимой ржи** на водосборе наиболее подходит следующая зависимость (последовательность чередования факторов в модели определяет их значимость влияния на урожайность) ( $U_1$ , ц/га):

$$U_1 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11},$$
$$X_1 = 1/(0,05896 + 0,003574C_b - 0,001196C_b^2);$$
$$X_2 = 0,867611P_n^{0,4574} \exp(-0,08771P_n);$$
$$X_3 = 1/(1,036 - 40,63 \exp(-1,271N_n));$$
$$X_4 = 1/(1,701 - 0,05978DAB + 0,001027DAB^2);$$
$$X_5 = fl/(-0,001146 + 1,003fl);$$
$$X_6 = 1/(7,014 - 1,897pH + 0,1479pH^2);$$
$$X_7 = 1/(1,235 - 0,01624C_s + 0,0002672C_s^2);$$
$$X_8 = D/(-0,2491 + 1,045D);$$

**Таблица 6.6.** Корреляционные отношения урожайности сельскохозяйственных культур в агроландшафте с влияющими факторами. Значимое корреляционное отношение при уровне значимости  $\alpha=5\%$  равно 0,2108

Фактор	Озимая рожь	Ячмень	Картофель	Гречиха	Сахарная свекла	Горох
Модуль максимального стока воды, л/(с·км <sup>2</sup> )	0,07	0,22	0,36	0,16	0,19	0,17
Содержание гумуса в 0-30 см слое почвы, %	0,47	0,67	0,32	0,29	0,64	0,33
Общая пористость, %	0,08	0,25	0,33	0,12	0,42	0,36
Аэрация при наименьшей влагоемкости, %	0,09	0,25	0,33	0,15	0,37	0,19
Наименьшая влагоемкость, %	0,19	0,17	0,41	0,03	0,20	0,43
Влажность завядания, %	0,18	0,12	0,20	0,08	0,27	0,39
Диапазон активной влаги, %	0,16	0,15	0,40	0,10	0,05	0,27
Водопроницаемость почвы, мм/мин	0,70	0,57	0,44	0,18	0,61	0,56
Дисперсность по Качинскому	0,33	0,35	0,44	0,04	0,27	0,46
pHводн	0,47	0,60	0,20	0,12	0,26	0,26
Средняя высота водосбора, м	0,28	0,47	0,21	0,20	0,09	0,26
Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	0,12	0,19	0,23	0,32	0,18	0,06
Густота гидрографической сети, км/км <sup>2</sup>	0,19	0,25	0,18	0,03	0,10	0,22
Лесистость водосбора, %	0,19	0,16	0,26	0,13	0,31	0,17
Распаханность водосбора, %	0,03	0,05	0,16	0,03	0,05	0,21
Среднегодовая сумма осадков за год, мм	0,19	0,22	0,07	0,14	0,09	0,05
Максимальная интенсивность осадков, мм/мин	0,07	0,03	0,09	0,19	0,13	0,13
Среднегодовая температура воздуха, °С	0,15	0,18	0,20	0,08	0,12	0,10
Относительная влажность воздуха, %	0,38	0,61	0,26	0,29	0,30	0,45
Валовое содержание азота в почве, %	0,30	0,43	0,39	0,21	0,55	0,34
Валовое содержание фосфора в почве, %	0,41	0,31	0,28	0,10	0,14	0,27
Валовое содержание калия в почве, %	0,24	0,13	0,43	0,05	0,25	0,14
Легкогидролизуемый азот, мг/100 г почвы	0,19	0,31	0,53	0,20	0,16	0,50
Подвижный фосфор, мг/100 г почвы	0,55	0,13	0,16	0,04	0,47	0,20
Обменный калий, мг/100 г почвы	0,52	0,60	0,08	0,21	0,44	0,39

$$X_9 = 1/(0,9316+0,0009124H-0,000002828H^2);$$

$$X_{10} = 1/(1,01-0,000004474F);$$

$$X_{11} = 1/(3,469-0,6642t_{cp}+0,0445t_{cp}^2),$$

где Сb – водопроницаемость почвы, мм/мин; Pn – содержание подвижного фосфора в 0-30 см слое почвы, мг/100 г почвы; Nn – содержание легкогидролизуемого азота, мг/100 г почвы; DAB – диапазон активной влаги,%; fl – залесенность водосбора,%; рН – кислотность почвы (водная вытяжка); Cs – сумма поглощенных оснований, мг-экв/100г почвы; D – дисперсность по Качинскому; H – средняя высота водосбора, м; F – площадь водосбора, км<sup>2</sup>; t<sub>cp</sub> – среднегодовая температура воздуха, °С.

Относительная ошибка модели E = 4,57%; абсолютная ошибка модели E<sub>1</sub> = 0,12 ц/га; коэффициент множественной корреляции r = 0,92; критерий качества модели (критерий Гаусса) s/σ = 0,39.

Исследование поверхностей влияния (урожайность = f(i – ый фактор; произведение X-уравнений всех остальных факторов модели (Ki)) позволило получить некоторые границы оптимальных характеристик, при которых урожайность озимой ржи в Степи Украины в богарных условиях наивысшая. Так, максимум урожайности озимой ржи здесь наблюдается при содержании подвижных форм фосфора в пределах 6,75-7,39 мг/100 г почвы, легкогидролизуемого азота (при благоприятных условиях роста) 7,48-8,3 мг/100г почвы, при не благоприятных условиях большое содержание легкогидролизуемого азота в почве способствует снижению урожайности (рис.6.1). При благоприятных условиях оптимальный DAB в почве составляет 16,1%, при не благоприятных – 30,9%. Диапазон облесенности водосборов при котором наблюдается максимум урожайности составляет 0,0-3,38%, увеличение залесенности до 5,63% способствует снижению урожайности, лесистость более 5,63% на урожайность влияния не показывает. Оптимум рН<sub>водн</sub> почвы также не однозначен и зависит от суммарного влияния факторов, так при благоприятных условиях роста максимум урожайности наблюдается при рН<sub>водн</sub> = 6,89-6,97, при не благоприятных – при рН<sub>водн</sub> = 5,9. Оптимум суммы поглощенных оснований составляет 36,49-39,11 мг-экв/100г почвы.

В результате проведенных исследований получено районирование территории Степи Украины по факторам, лимитирующим урожайность озимой ржи (рис.6.5). Из элементов питания, содержащихся в почве, на урожайность озимой ржи оказывает лимитирующее влияние содержание подвижного фосфора, реже сумма поглощенных оснований, сильное влияние оказывают агрофизические свойства почв и рН.

**Урожайность ячменя (зерно)** на водосборе можно определить по зависимости (U<sub>2</sub>, ц/га):

$$U_1 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11},$$

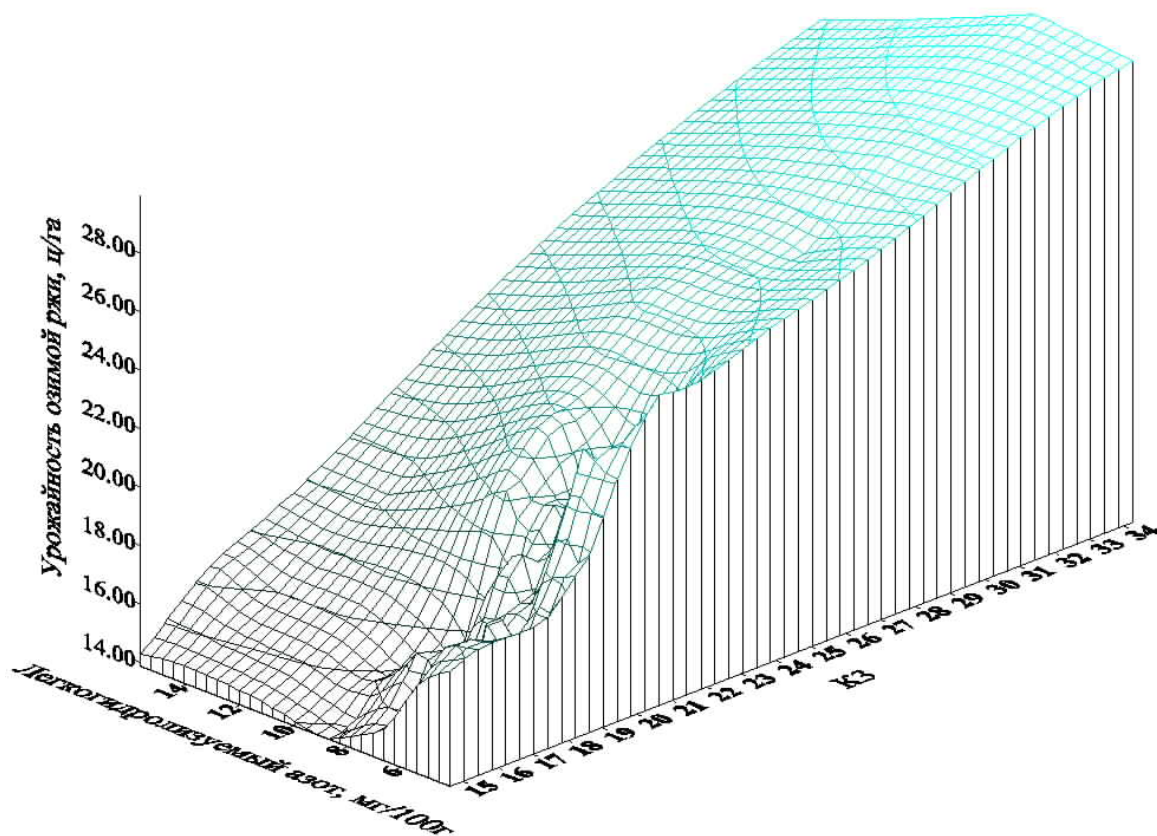
$$X_1 = 32,26 - 0,3601gm - 211,7/gm^2;$$

$$X_2 = 1,254 - 0,1795Cb + 0,02821Cb^2;$$

$$X_3 = 0,772 + 0,001309H + 35,85/H^2;$$

$$X_4 = 0,000125pH^{11,07} \exp(-1,79pH);$$

$$X_5 = 0,000033977BZ^{7,018} \exp(-0,5921BZ);$$



**Рис.6.1. Поверхность влияния содержания легкогидролизуемого азота (мг/100г почвы) в 0-30 см слое почвы на урожайность озимой ржи (ц/га) при обобщенном воздействии метеорологических, гидрографических и почвенных факторов (K3)**

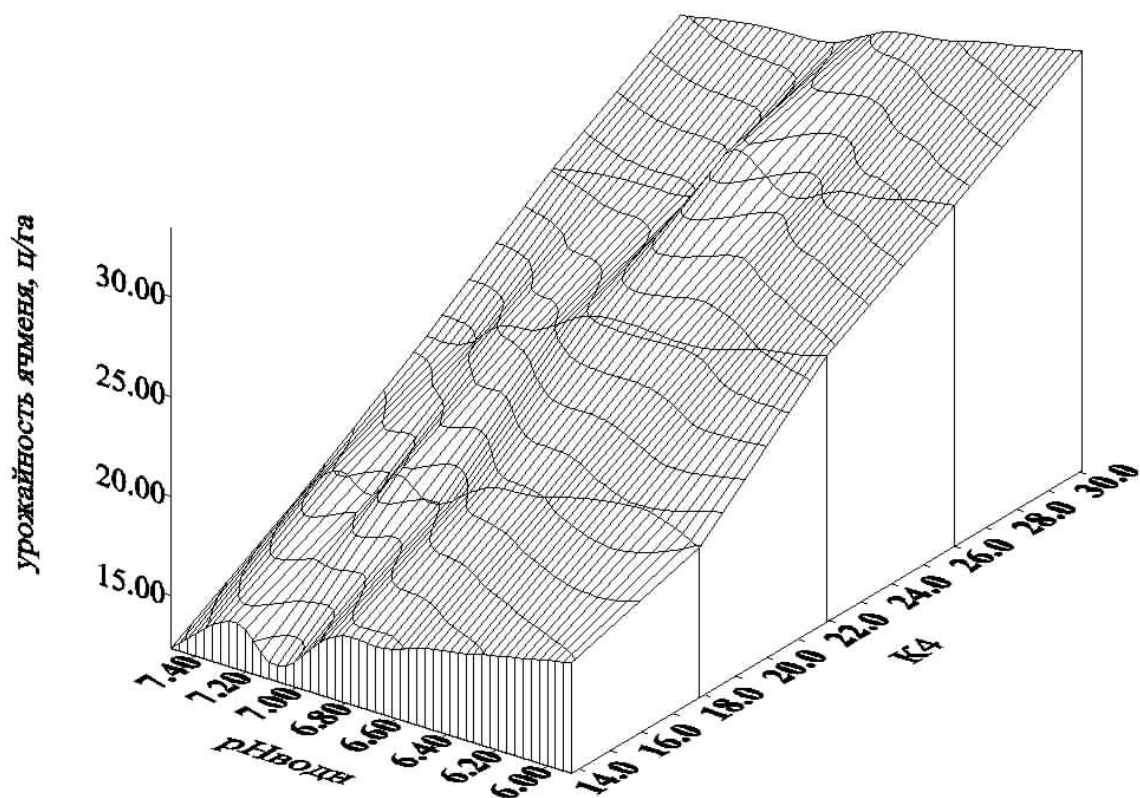
$$\begin{aligned}
 X_6 &= 1/(72,48-1,917e_0+0,01285e_0^2); \\
 X_7 &= 1/(0,891+0,03009N_n-0,001853N_n^2); \\
 X_8 &= 1/(0,8295+1,986P_b-5,391P_b^2); \\
 X_9 &= 1/(0,9991-0,005008f_l+0,001578f_l^2); \\
 X_{10} &= 1/(1,507-0,6161K_b+0,1802K_b^2); \\
 X_{11} &= 7,14 \cdot 10^{-7} o_n^{4,695} \exp(-0,08468o_n),
 \end{aligned}$$

где  $g_m$  – содержание гумуса в слое 0-30 см почвы;  $BZ$  – влажность завядания,%;  $P_b$  – валовое содержание фосфора в слое 0-30 см почвы, %;  $K_b$  – валовое содержание калия в слое 0-30 см почвы,%;  $o_n$  – общая пористость, %.

$$E = 4,92\%; E_1 = 0,144 \text{ ц/га}; r = 0,90; s/\sigma = 0,43.$$

Исследование поверхностей влияния отдельных факторов на урожайность зерна ячменя при учете суммарного воздействия остальных факторов показало, что увеличение урожайности ячменя наблюдается до высоты водосбора 195 м, при дальнейшем увеличении высоты водосбора урожайность падает. При неблагоприятных условиях роста урожайность ячменя с увеличением рН уменьшается, при благоприятных условиях максимум урожайности отмечается при рН = 6,9 (рис.6.2). Максимум урожайности отмечается при  $BZ=13,86\%$ ,  $e_0=73,97\%$ . В диапазоне лесистости 0-3,38%

урожайность ячменя максимальна, при лесистости более 3,38 урожайность от лесистости не зависит. При прочих благоприятных условиях максимум урожайности наблюдается при содержании легкогидролизруемого азота в почве 8,03 мг/100 г почвы, при неблагоприятных условиях роста при  $N_n = 8,08$  мг/100г почвы наблюдается минимум урожайности, т.е. границы оптимумов сильно зависят от прочих условий выращивания культур, что также отмечалось и другими авторами (Оптимальные параметры плодородия, 1984). При благоприятных условиях максимум урожайности наблюдается при валовом содержании фосфора 0,104%, при неблагоприятных условиях максимум урожая наблюдается при максимуме содержания Рb, а минимум при Рb=0,15. Максимальная урожайность при благоприятных условиях наблюдается при валовом содержании калия в почве равном 1,98%, при неблагоприятных – максимум урожая наблюдается при  $K_b=1,03$ , а минимум в диапазоне 1,84-1,98%. Влияние общей пористости на урожайность ячменя также не однозначно, при благоприятных условиях максимум урожайности наблюдается при  $op = 57,08\%$ , при неблагоприятных условиях минимум урожая наблюдается при  $op=54,11\%$ .



**Рис. 6.2. Поверхность влияния рН водной вытяжки в 0-30 см слое почвы на урожайность ячменя (ц/га) при обобщенном воздействии метеорологических, гидрографических и почвенных факторов (К4)**

В Степи Украины именно содержание гумуса, воднофизические свойства почв и влажность воздуха лимитируют урожайность ячменя (рис.6.б).

Примечательно влияние влажности воздуха на произрастание сельскохозяйственных культур, это интегральный климатический показатель, формирующийся под воздействием ряда факторов (атмосферные осадки, испарение, ветер, температура), к сожалению, многие исследователи предпочитают ему количество осадков и температуру воздуха.

**Сахарная свекла** растение длинного дня, требовательное к свету. Продолжительность и интенсивность солнечного сияния оказывают большое влияние на рост и развитие растений, а также на накопление сахара. Чем лучше освещенность, тем успешнее протекает процесс синтеза углеводов. Недостаток света, напротив, резко снижает урожай и сахаристость. Сахарная свекла отличается относительной засухоустойчивостью, что обусловлено хорошо развитой корневой системой, которая позволяет растениям использовать влагу из глубоких слоев почвы, что в свою очередь делает возможным возделывать ее по всей территории Украины.

В большинстве областей Украины урожайность сахарной свеклы составляет 107-400 ц/га, в благоприятные годы она достигает 55—590 ц/га. Однако биологический потенциал растения позволяет получать намного большие урожаи, для этого необходимо тщательно учитывать ход агрометеорологических условий в период возделывания (Л.В.Щербак, 2005).

Существует ряд моделей описывающих продукционный процесс сахарной свеклы в том числе эмпирические и динамические. Так, W.M.Patefield и R.V.Austin (1971) разработали модель роста сахарной свеклы в посевах с однородным характером произрастания, когда питательные вещества и влага не являются лимитирующими факторами роста. G.W.Fick и др. (1973) разработали модель роста сахарной свеклы на протяжении всего вегетационного периода на основе «иерархии приоритетов» разных процессов. Приоритетным считается рост свеклы (дыхание), затем рост мочковатого корня и рост корнеплода. Z.S.Chalabi с соавторами (1986) предложили модель развития листовой поверхности сахарной свеклы и взаимосвязи между накоплением наземной биомассы растения и ее продуктивностью. Долгопериодическую динамическую модель роста, развития и формирования урожая сельскохозяйственных культур предложил А.Н.Полевой (1983). О.В.Вольвач (1995) разработала динамическую модель продукционного процесса сахарной свеклы для условий Украины. Динамические модели позволяют моделировать нарастание биомассы в течение периода вегетации при различных сценариях развития погодно-климатических условий и условий возделывания.

Л.В.Щербак (2005) на основе ранее предложенного метода оценки урожайности (И.П.Галюк и др., 1986) предложила уравнение для расчета средней районной урожайности сахарной свеклы в виде:

$$y = (Y_{cp} + At)(1-u)S(T,R),$$

где  $y$  – прогнозное значение урожая сахарной свеклы заблаговременностью 1, 2 или 3 месяца;  $Y_{cp}$  – статистический максимум урожайности вероятностью 99,9%;  $A$  – средний прирост урожая за год (по величине тренда), ц/га год;  $t = t_i - t_c$  – отклонение данного года  $t_i$  от реперного  $t_c$ ;  $u$  – изреженность посевов;  $S(T,R)$  – суммарный показатель продуктивности полевой культуры, рассчитанный по

температуре воздуха  $T$  и количеству осадков  $R$  в предпосевной и за каждые межфазные периоды вегетации. В расчетах учитывается оптимальная температура воздуха и оптимальное, минимальное и максимальное количество осадков (см.Гл.4).

Л.С.Кельчевская (Агроклиматическое районирование..., 1979) предложила агроклиматическое районирование сахарной свеклы для ЕТ СССР и стран восточной Европы. Она исходила из положения, что продуктивность сахарной свеклы зависит от сроков сева, которые в свою очередь определяются агрометеорологическими условиями года. Комплексная оценка условий возделывания сахарной свеклы ею была проведена по сумме температур воздуха за вегетационный период и показателю увлажнения, учитывающего сумму осадков за период от уборки до посева свеклы и сумму осадков за период активной вегетации.

**Урожайность сахарной свеклы** ( $U_3$ , ц/га) для условий степи Украины можно определить по следующей зависимости:

$$U_3 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10};$$

$$X_1 = 827 - 276,6gm + 31,56gm^2;$$

$$X_2 = 1,436 - 0,04045Pn - 0,7986/Pn^2;$$

$$X_3 = 0,9473 + 0,01776Cb - 0,06492/Cb^2;$$

$$X_4 = 57,82 - 0,5051eo - 106400/eo^2;$$

$$X_5 = -1,69 + 0,2304ar - 0,004878ar^2;$$

$$X_6 = 1,031 - 0,02622fl + 0,002559fl^2;$$

$$X_7 = 1,005 - 28,24F^{-1,5};$$

$$X_8 = 1,183 - 2,096Pb + 5,558Pb^2;$$

$$X_9 = 1,906 - 0,03469DAB - 89,8/DAB^2;$$

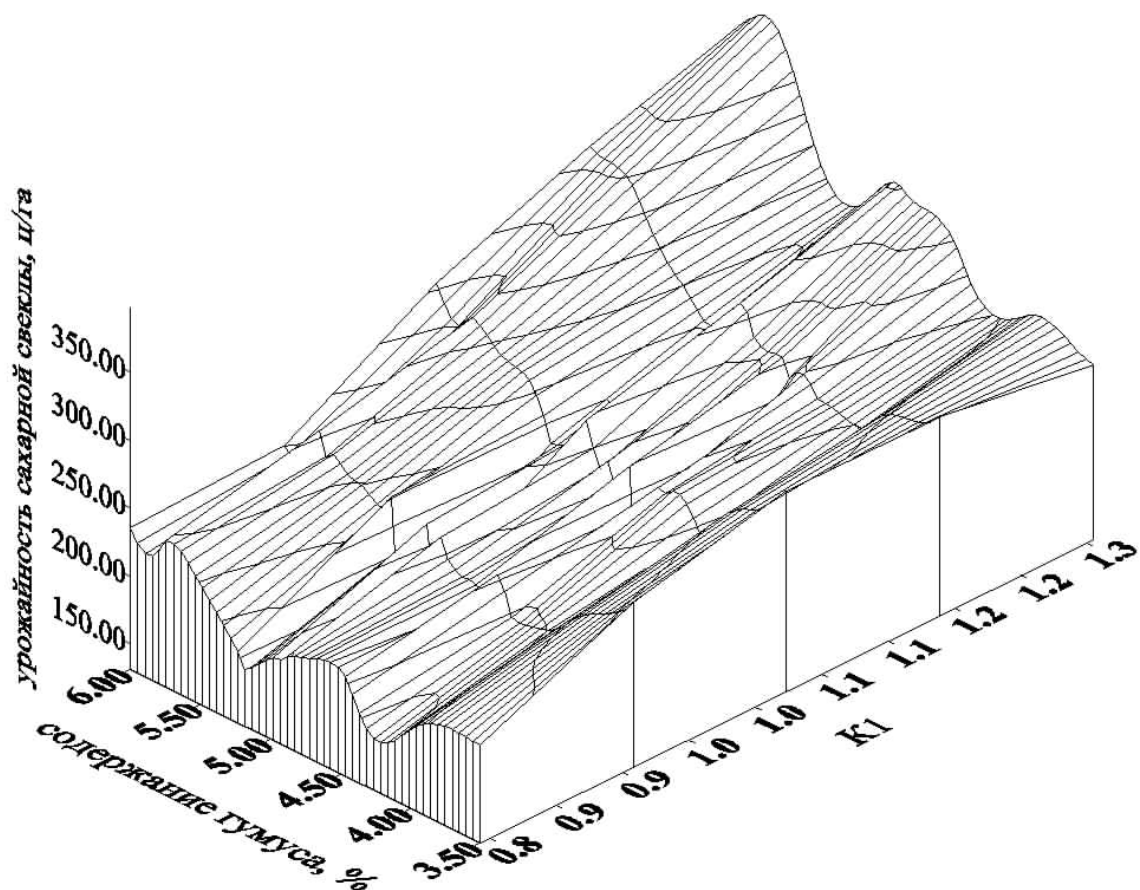
$$X_{10} = 0,9968 - 0,05034Kb^{-4},$$

где  $ar$  – аэрация при наименьшей влагоемкости почвы, %.

$$E = 5,55\%, E_1 = 2,146 \text{ ц/га}; r = 0,8645; s/\sigma = 0,5027.$$

Максимум урожая сахарной свеклы в Степи Украины обеспечивают следующие величины влияющих факторов:  $eo = 77,97-74,66\%$ , при благоприятных условиях  $ar = 27,09\%$ , при неблагоприятных с увеличением  $ar$  урожайность убывает; в диапазоне лесистости  $0-2,63\%$  урожайность сахарной свеклы максимальна, при лесистости более  $2,63\%$  урожайность убывает. При благоприятных условиях с увеличением площади водосбора урожайность уменьшается, при неблагоприятных – наоборот несколько увеличивается. При благоприятных условиях максимум урожая сахарной свеклы отмечается при  $Pb=0,104-0,112\%$ , при  $Pb>0,112\%$  урожайность убывает, при неблагоприятных условиях минимум урожайности отмечается при  $Pb=0,166\%$ , при  $Pb>0,166\%$  урожайность увеличивается. Влияние  $DAB$  на урожайность при неблагоприятных условиях не прослеживается, при благоприятных максимум урожая отмечен при  $DAB=32,78\%$ . При неблагоприятных условиях неоднозначно влияние содержания валового калия в почве на урожайность сахарной свеклы, при благоприятных максимум урожая отмечается при  $Kb=0,197-0,205\%$ . На рис.6.3 представлена зависимость урожайности сахарной свеклы от содержания гумуса в  $0-30$  см слое почвы при обобщенном влиянии





**Рис.6.3. Поверхность влияния содержания гумуса в 0-30 см слое почвы на урожайность сахарной свеклы (ц/га) при обобщенном воздействии метеорологических, гидрографических и почвенных факторов (K1)**

других факторов. На рис. 6.7 приведено районирование территории Степи Украины по факторам, имеющим преимущественное влияние на урожайность сахарной свеклы.

По данным В.В.Медведева с соавторами (1999) при условии оптимума тепла только влажность может быть лимитирующим фактором роста урожайности сахарной свеклы в условиях Степи Украины, при нормализации увлажнения почвенные параметры не должны лимитировать урожайность. Нами рассматривались естественные условия произрастания сахарной свеклы и из исследованных факторов большее влияние оказывают агрохимические и агрофизические свойства почв. В опытах В.Д.Кулик с соавторами (1971) фосфорно-калийные удобрения во влажные годы не давали достоверной прибавки урожая, в засушливые же урожайность повышалась значительно, повышалась также и сахаристость. По А.А.Сидорову (1971) в зоне неустойчивого увлажнения азотные удобрения оказывают слабое воздействие на урожайность сахарной свеклы, причем при недостаточном количестве осадков внесение твердых азотных удобрений часто может привести к снижению урожая. По нашим данным из элементов питания урожайность сахарной свеклы лимитируют: содержание гумуса, подвижного и валового фосфора, валового калия в почве.

Урожайность зерна гороха ( $U_4$ , ц/га) на водосборе можно определить по следующей зависимости:

$$U_4 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11},$$

$$X_1 = 1 / (0,07691 - 0,005519N_n + 0,00029N_n^2);$$

$$X_2 = 1,199 - 0,01063K_n - 0,2765/K_n^2;$$

$$X_3 = 2,458 - 0,02389DAB - 17,37/DAB;$$

$$X_4 = D / (-0,532 + 1,103D);$$

$$X_5 = 1,106 - 0,08085C_b + 0,01395C_b^2;$$

$$X_6 = 0,80456g_m^{0,448} \exp(-0,1005g_m);$$

$$X_7 = 1 / (1,016 - 0,00002439H - 0,0000003839H^2);$$

$$X_8 = 1 / (3,84 - 0,8472pH + 0,06297pH^2);$$

$$X_9 = 0,94 - 0,03213lg(P_b);$$

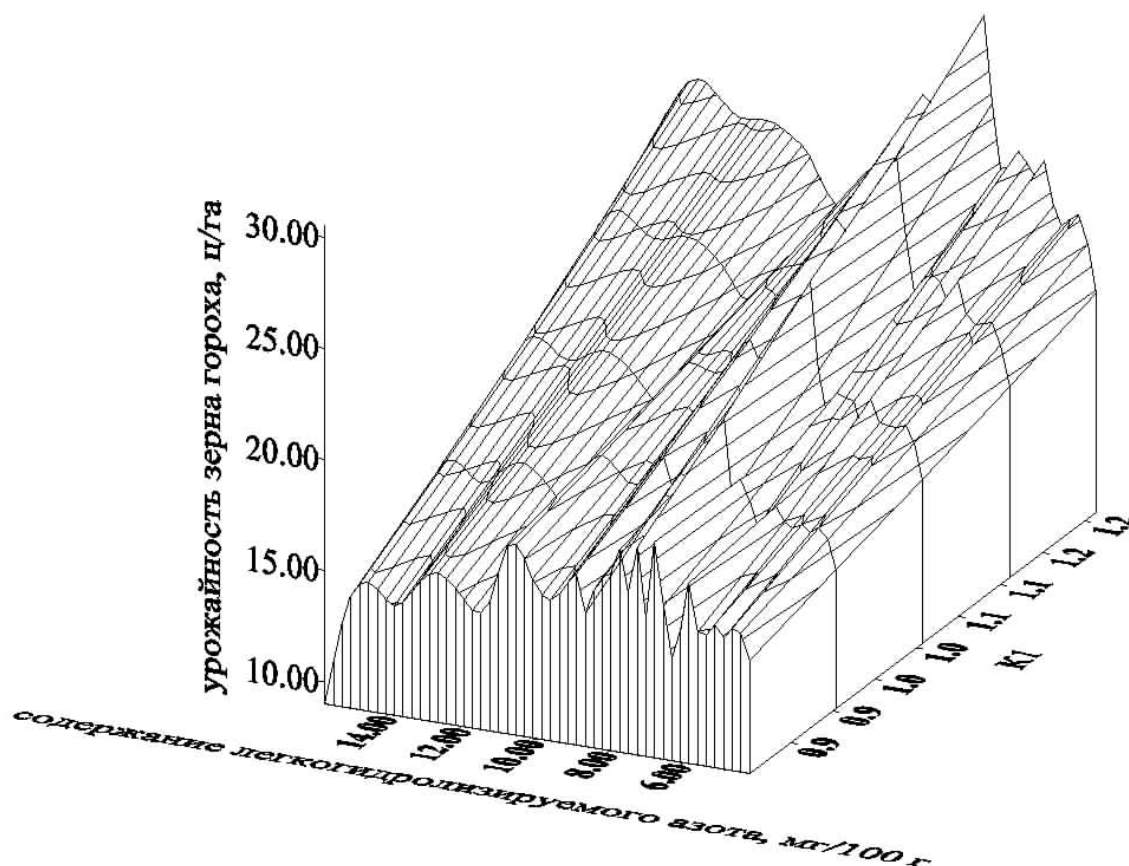
$$X_{10} = 3,64 - 0,07324e_o + 0,0005074e_o^2;$$

$$X_{11} = 0,9999 + 4,319 \cdot 10^{-11}f^{-4},$$

где  $K_n$  – содержание обменного калия в 0-30 см слое почвы, мг/100 г почвы.

$$E = 3,11\%; E_1 = 0,11 \text{ ц/га}; r = 0,83; s/\sigma = 0,55.$$

Для гороха максимальная урожайность наблюдается при содержании легкогидролизуемого азота в почве 8,03-9,95 мг/100г почвы (рис.6.4),



**Рис. 6.4. Поверхность влияния содержания легкогидролизуемого азота (мг/100г почвы) в 0-30 см слое почвы на урожайность зерна гороха (ц/га) при обобщенном воздействии метеорологических, гидрографических и почвенных факторов ( $K_1$ )**

подвижного калия 10,85 мг/100г почвы, рН=6,9, ео = 74,08%, лесистости 0-5,63%. При благоприятных условиях максимум урожая гороха наблюдается при валовом содержании фосфора 0,104-0,112%, при неблагоприятных отмечен минимум урожая при Рb=0,143%. С увеличением дисперсности урожайность гороха убывает при благоприятных условиях, при неблагоприятных условиях отмечается минимум урожая при D=9,91. Неоднозначно влияет на урожайность гороха высотное положение водосбора, максимум урожая отмечается при H=206,7 м и 369 м; минимум при H=265 м. При неблагоприятных условиях величина водопроницаемости почвы равная 2,72 мм/мин является крайне неблагоприятной для урожая гороха, при благоприятных условиях отмечается несколько пиков максимального урожая.

Основными факторами, лимитирующими произрастание гороха в Степи Украины являются: содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора, кислотность, дисперсность и водопроницаемость почв, влажность воздуха и высотное положение водосбора. По территории Степи Украины различия в условиях, лимитирующих произрастание гороха, незначительны (рис.6.8).

Влияние высотного положения водосбора на произрастание культур может быть объяснена различием в увлажнении, как почв, так и воздуха; дифференциацией почвенных разностей по длине склона и водосбора и т.п.

**Урожайность картофеля** ( $U_5$ , ц/га) на водосборе можно определить по зависимости:

$$U_5 = X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 X_7 X_8 X_9 X_{10} X_{11},$$

$$X_1 = 253,2 - 9,454 N_n - 1205 / N_n^2;$$

$$X_2 = 1 / (1,022 - 8898,0 \exp(-0,4338 C_s));$$

$$X_3 = 0,9924 + 7,191 \cdot 10^{-8} q_m^3;$$

$$X_4 = 1 - 0,04175 C_b + 0,01117 C_b^2;$$

$$X_5 = 1,016 - 0,02154 f_l + 0,00365 f_l^2;$$

$$X_6 = 0,9741 + 7,33 \cdot 10^{-5} N_b^{-4};$$

$$X_7 = -5,488 + 1,843 pH - 0,1308 pH^2;$$

$$X_8 = 1,042 - 0,002925 D^{1,5};$$

$$X_9 = 1,006 - 0,1906 K^3;$$

$$X_{10} = 0,785 + 0,005711 H + 18,79 / H;$$

$$X_{11} = -1,781 + 0,1488 BZ + 141,3 / BZ^2;$$

где  $q_m$  – модуль максимального стока воды, л/(с·км<sup>2</sup>);  $K$  – густота гидрографической сети, км/км<sup>2</sup>.

$$E = 4,34\%; E_1 = 1,14 ; r = 0,87; s/\sigma = 0,48.$$

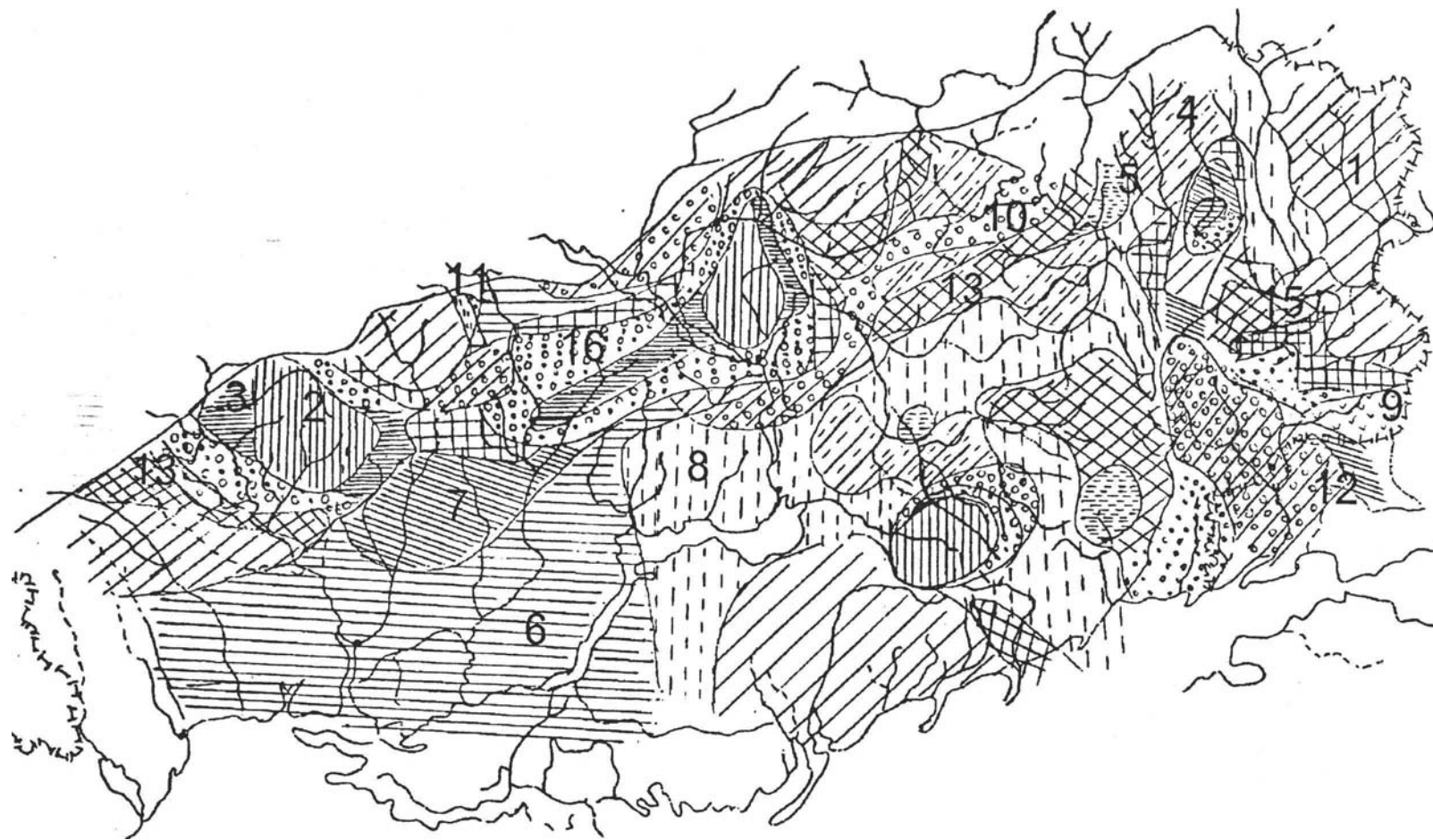
Максимум урожая картофеля отмечается при содержании легкогидролизуемого азота в почве 6,04 мг/100 г почвы, D = 7,8, H=242 м; при благоприятных условиях максимум урожая наблюдается при Cb=1,72 мм/мин, при неблагоприятных – урожайность возрастает с увеличением водопроницаемости; лесистость в 8% является оптимумом при благоприятных условиях, при неблагоприятных условиях лесистость не влияет на урожай картофеля, содержание валового азота при благоприятных условиях оптимально при Nb = 0,169%, при неблагоприятных - Nb = 0,35%. Максимум урожая картофеля при благоприятных условиях наблюдается при рНводн=6,97-

7,03, при неблагоприятных рНводн влияет слабо. Густота гидрографической сети, при которой наблюдается максимум урожая, составляет  $0,396 \text{ км/км}^2$  при благоприятных условиях, при неблагоприятных условиях – К влияет слабо. Высотное положение водосбора также неоднозначно влияет на урожайность картофеля, до  $H=242 \text{ м}$  урожайность возрастает, при дальнейшем увеличении высоты водосбора урожайность падает. Для условий Степи Украины урожайность картофеля, в основном, лимитируется содержанием азота в почве и её водопроницаемостью, что также подтверждается другими авторами (рис.6.9) (Довідник картопляра, 1985).

Для всех исследуемых культур оптимальные величины плодородия агроландшафтов сильно зависят от сопутствующих условий произрастания культур.

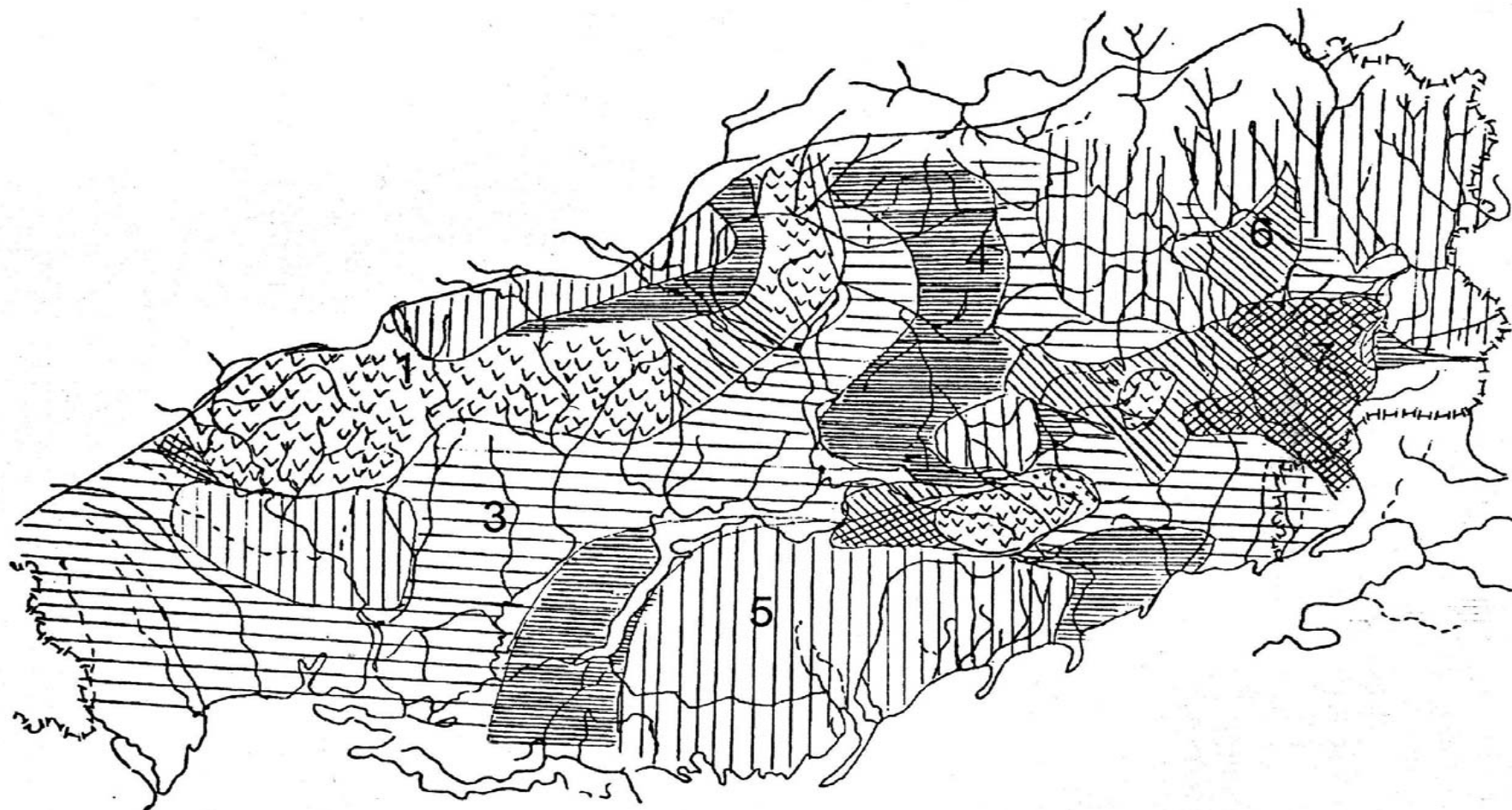
Районирования территории по условиям, лимитирующим произрастание сельскохозяйственных культур получено для всех исследуемых культур (рис.6.5-6.9).

В результате проведенных исследований выявлено влияние погодноклиматических, почвенных, гидрографических характеристик в водосборных бассейнах на урожайности шести сельскохозяйственных культур. Получены эмпирические зависимости, позволяющие рассчитать урожайность сельскохозяйственных культур на водосборе. Определены критические величины влияющих факторов, обеспечивающие экстремумы урожайности сельскохозяйственных культур. Предложено районирование территории Степи Украины по условиям, лимитирующим произрастание сельскохозяйственных культур.



**Рис.6.5. Районирование территории Степи Украины по факторам, лимитирующим произрастание озимой ржи**

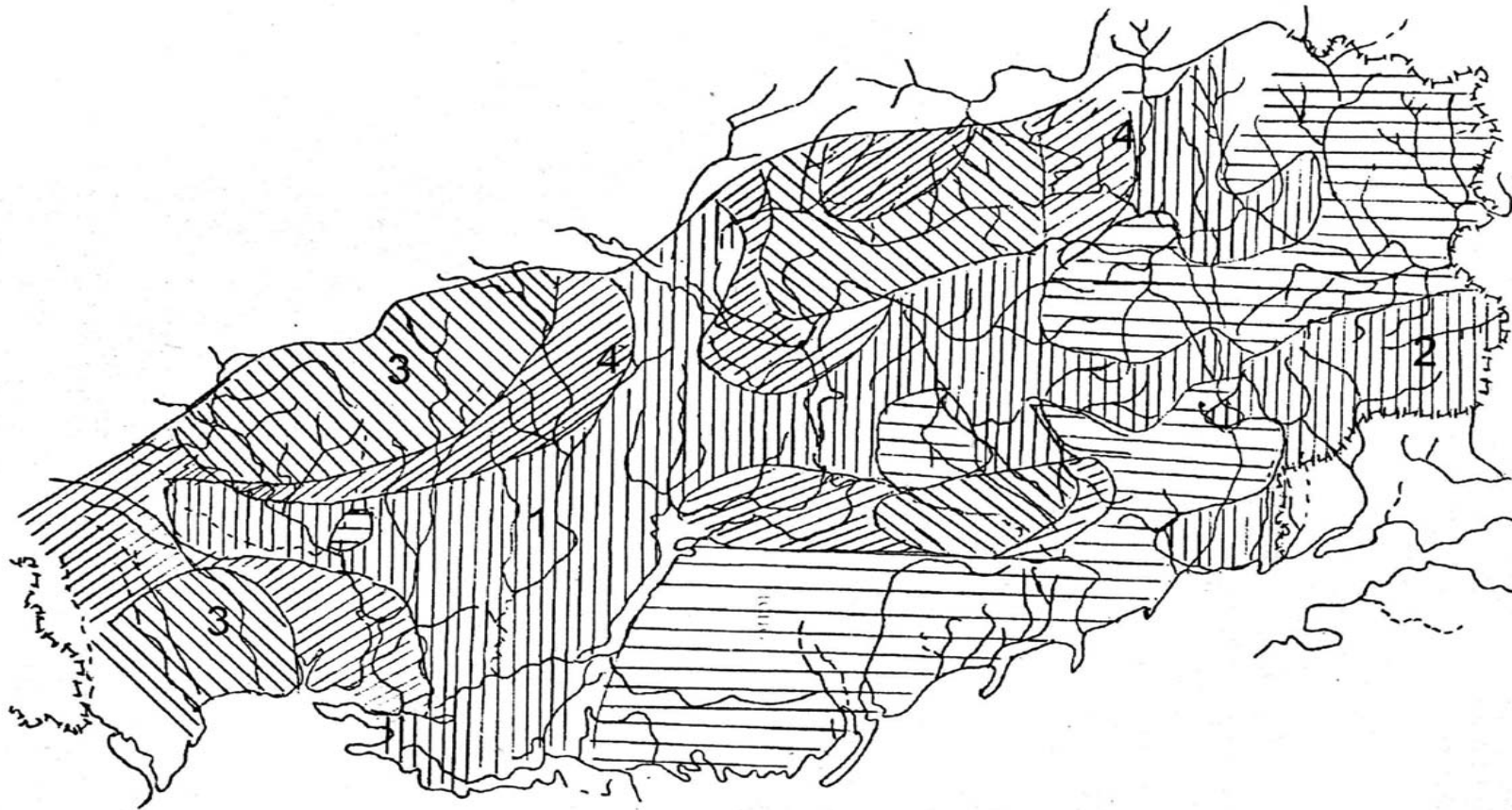
**Условные обозначения к рис. 6.5:** 1 – содержание подвижного фосфора; рНводн, дисперсность по Качинскому, водопроницаемость почвы, диапазон активной влаги, среднегодовая температура воздуха, лесистость; 2 - площадь водосбора, рНводн, содержание подвижного фосфора, 3- водопроницаемость, содержание подвижного фосфора, сумма поглощенных оснований, дисперсность, высота водосбора и лесистость; 4 – дисперсность, диапазон активной влаги, рНводн; 5 – дисперсность, диапазон активной влаги; 6 – водопроницаемость, содержание подвижного фосфора; 7 - дисперсность, содержание подвижного фосфора, высота водосбора; 8 - среднегодовая температура воздуха, дисперсность, водопроницаемость и диапазон активной влаги; 9 – содержание подвижного фосфора, рНводн, дисперсность; 10 – дисперсность, содержание подвижного фосфора, рНводн, высота водосбора; 11- водопроницаемость, высота водосбора и лесистость, среднегодовая температура воздуха; 12 – водопроницаемость, дисперсность, содержание подвижного фосфора, высота водосбора, лесистость, среднегодовая температура воздуха; 13 – содержание подвижного фосфора, сумма поглощенных оснований, рНводн, дисперсность, диапазон активной влаги, среднегодовая температура воздуха; 14 – содержание подвижного фосфора, дисперсность, рНводн, водопроницаемость, лесистость; 15 – содержание подвижного фосфора, сумма поглощенных оснований, водопроницаемость, дисперсность, диапазон активной влаги, лесистость, сренгегодовая температура воздуха; 16 – содержание подвижного фосфора и сумма поглощенных оснований, водопроницаемость, дисперсность, рНводн, лесистость, высота водосбора, среднегодовая температура воздуха.



**Рис.6.6. Районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность ячменя в степной зоне Украины**

**Условные обозначения к рис. 6.6.** **1** – общая пористость и водопроницаемость почвы, содержание легкогидролизуемого азота и рНводн 0-30 см слоя почвы, лесистость водосбора; **2** – содержание гумуса и рНводн в 0-30 см слоя почвы, водопроницаемость и общая пористость 0-30 см слоя почвы, лесистость водосбора и среднегодовая влажность воздуха; **3** – содержание гумуса а 0-30 см слое почвы, водопроницаемость почвы, лесистость водосбора, относительная влажность воздуха; **4** – содержание гумуса и рНводн в 0-30 см слое почвы, водопроницаемость почвы, относительная влажность воздуха, лесистость и высота водосбора; **5** – содержание гумуса и валового фосфора в 0-30 см слое почвы, водопроницаемость и влажность завядания, относительная влажность воздуха; **6** – водопроницаемость и рНводн почвы, содержание гумуса, легкогидролизуемый азот и валовый фосфор в 0-30 см слое почвы, лесистость водосбора и относительная влажность воздуха; **7** – водопроницаемость, общая пористость и рНводн, содержание гумуса, легкогидролизуемый азот и валовый фосфор в слое 0-30 см почвы, лесистость водосбора, относительная влажность воздуха.





**Рис. 6.7. Районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность сахарной свеклы в степной зоне Украины**

**Условные обозначения к рис. 6.7:** 1 – содержание гумуса и валового калия в слое 0-30 см слоя почвы, водопроницаемость почвы, лесистость водосбора; 2 – содержание гумуса, валового калия и подвижного фосфора в 0-30 см слое почвы, водопроницаемость и диапазон активной влаги в почве, лесистость водосбора; 3 – водопроницаемость и диапазон активной влаги в почве, содержание подвижного фосфора в 0-30 см слое почвы, площадь и высота водосбора; 4 – водопроницаемость и диапазон активной влаги, содержание подвижного фосфора, гумуса и валового калия в 0-30 см слое почвы, площадь, высота и лесистость водосбора.

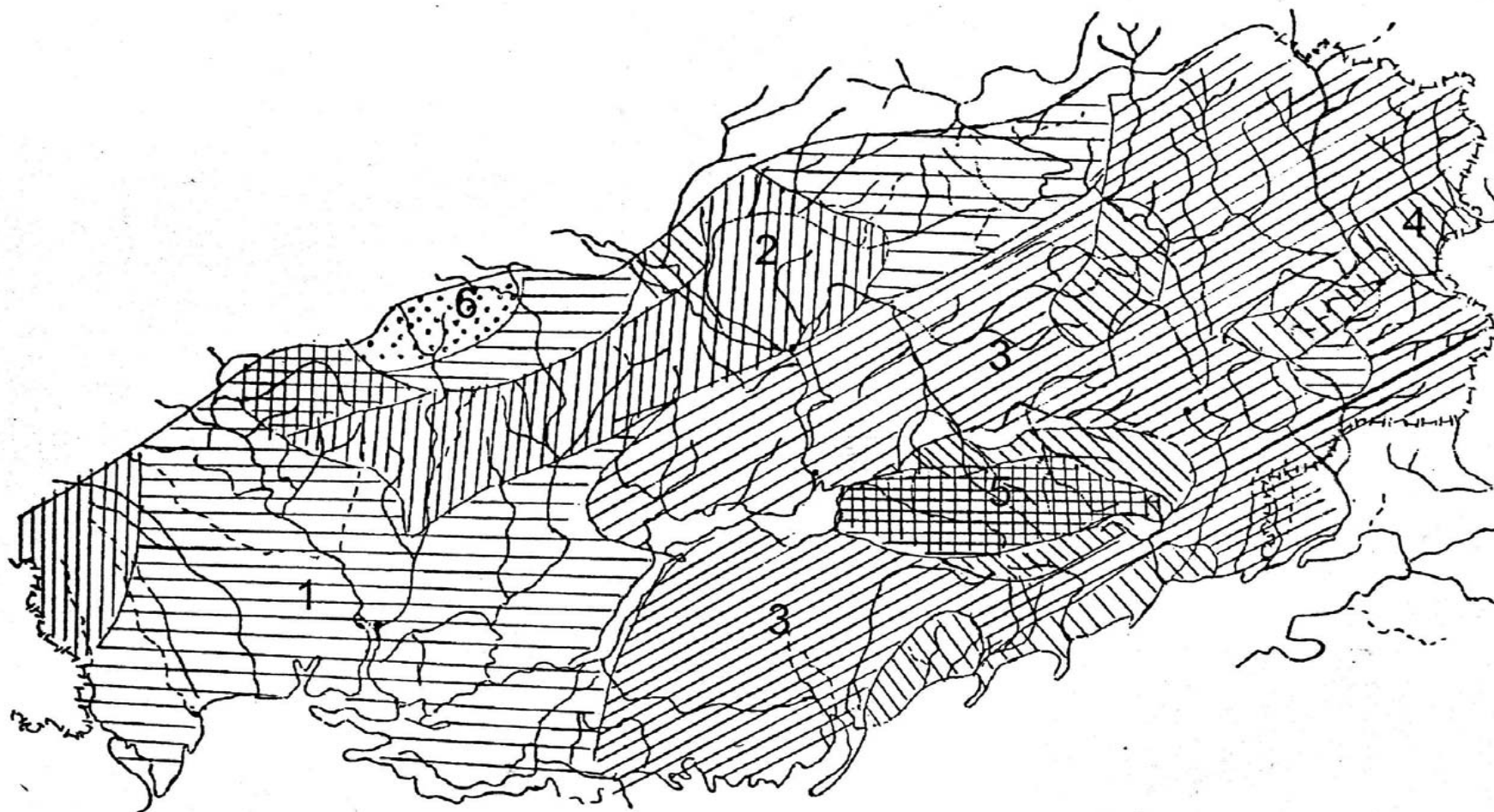
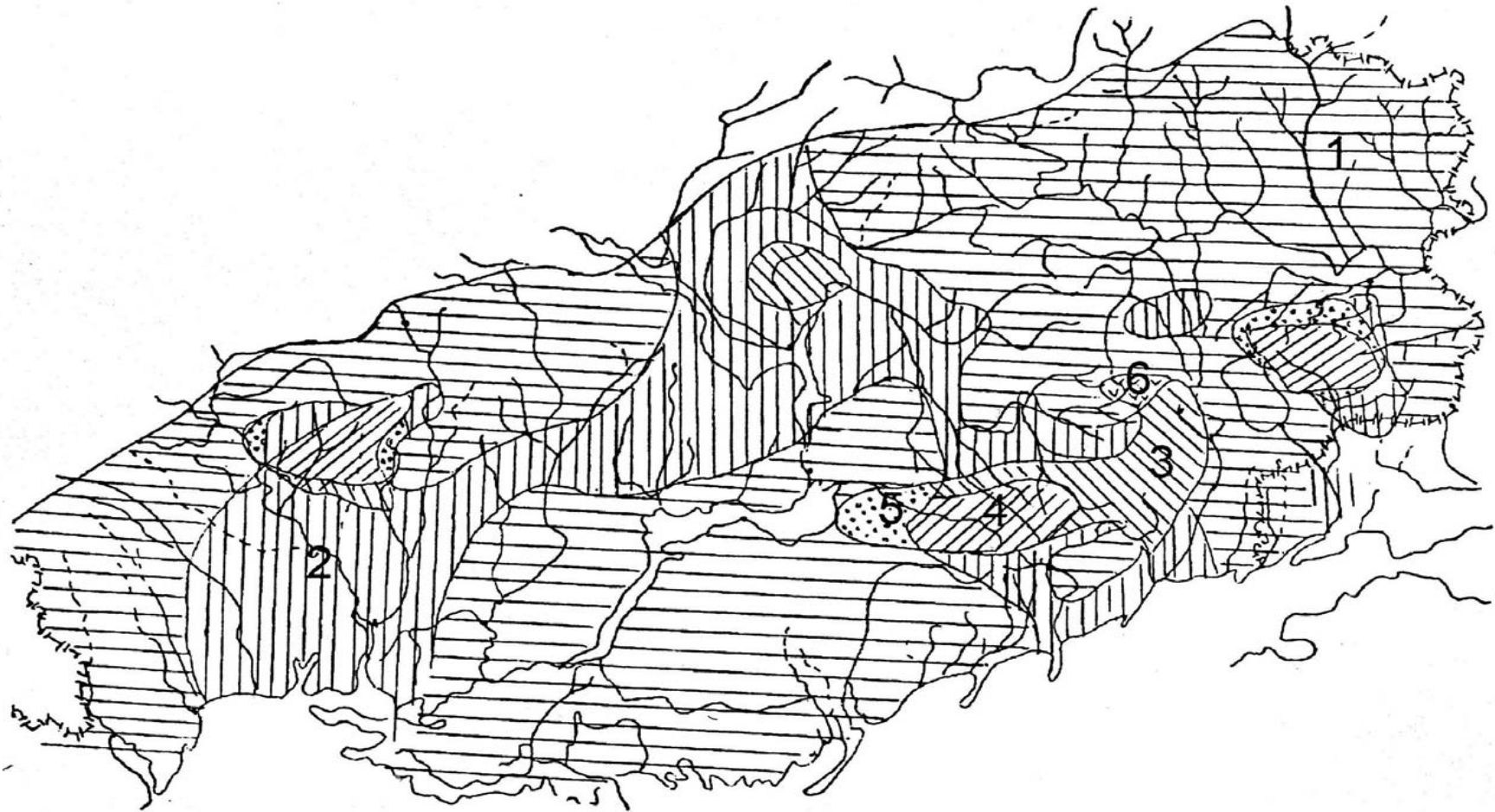


Рис. 6.8. Районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность гороха в степной зоне Украины

**Условные обозначения к рис. 6.8 :** 1 – содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора в слое 0-30 см почвы, рНводн почвы, дисперсность и водопроницаемость почвы, относительная влажность воздуха, высота водосбора; 2 – содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора и обменного калия в 0-30 см слое почвы, рНводн почвы, дисперсность и водопроницаемость почвы, относительная влажность воздуха, высота водосбора; 3 – дисперсность, водопроницаемость и диапазон активной влаги в почве, содержание легкогидролизуемого азота и валового фосфора, рНводн почвы, относительная влажность воздуха, высота водосбора; 4 – дисперсность, водопроницаемость и диапазон активной влаги, содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора и гумуса в 0-30 см слое почвы, рНводн почвы, относительная влажность воздуха, высота водосбора; 5 – дисперсность, водопроницаемость и диапазон активной влаги в почве, содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора и обменного калия, рНводн почвы, относительная влажность воздуха, высота водосбора; 6 – относительная влажность воздуха, содержание легкогидролизуемого азота, валового фосфора и рНводн в слое 0-30 см слоя почвы, дисперсность и водопроницаемость почвы, высота водосбора.



**Рис.6.9. Районирование территории по факторам, лимитирующим урожайность картофеля в степной зоне Украины**

**Условные обозначения к рис. 6.9:** 1 – содержание легкогидролизуемого азота в 0-30 см слое почвы, водопроницаемость почвы; 2 – содержание легкогидролизуемого и валового азота, водопроницаемость почвы, модуль максимального стока воды на водосборе; водопроницаемость почвы, содержание валового и легкогидролизуемого азота в 0-30 см слое почвы, модуль максимального стока воды на водосборе, лесистость и высота водосбора; 4 – водопроницаемость и влажность завязания почвы, лесистость и высота водосбора, модуль максимального стока воды на водосборе, содержание валового азота и рНводн 0-30 см слое почвы; 5 – лесистость и высота водосбора, модуль максимального стока воды на водосборе, рНводн и влажность завязания 0-30 см слоя почвы; 6 – водопроницаемость почвы, содержание легкогидролизуемого азота и валового азота, лесистость и высота водосбора.

## **6.2. Оптимальные условия функционирования агроландшафтов**

Оптимальными считаются такие параметры, превышение которых не обеспечивает увеличения производительности агроландшафта и при которых потери вещества и энергии не превышают характерных для данного агроландшафта и для данного района значений.

При определении оптимальных факторов плодородия агроландшафтов необходимо учитывать, что требования разных культурных растений, а также сортов к грунтовым режимам, увлажнению, солнечной радиации, температуре и т.п. неодинаковые. Для одних культур объединения факторов может быть благоприятным, для других - нет, часть благоприятных факторов, может нивелироваться неблагоприятными и тогда для улучшения условий выращивания отдельных культур нужно дополнительно проводить мелиоративные мероприятия (внесение извести, орошение, лесные полосы и т.п.).

Формирование культурного агроландшафта должно быть основано на 1) учете оптимальных условий произрастания культур и 2) учете мер, способствующих повышению продуктивности земель для конкретных сельскохозяйственных культур в исследуемом районе.

Основным критерием в оценке, как оптимальных условий произрастания сельскохозяйственных культур, так и агроэкологической группировке земель по мероприятиям, способствующим повышению их продуктивности должна быть урожайность (продуктивность) сельскохозяйственных культур.

Оптимальными параметрами плодородия сельскохозяйственных культур являются такие показатели характеристик почв, климата, внесения удобрений, орошения и т.п. превышение которых не обеспечивает дальнейшего прироста продуктивности сельскохозяйственных культур.

Важным требованием к агроландшафту при обеспечении его устойчивости является видовое разнообразие входящих в него ценозов и их дифференцированное размещение в пространстве. Оптимальность соотношения площадей в агроландшафте рассматривают на разных уровнях: агроландшафт в целом (обычно дифференцируется по природным зонам) и соотношение групп культур и отдельных культур в составе пашни.

Оптимальные величины плодородия агроландшафтов сильно зависят от условий, в которых проводились опыты. Так, для степной зоны Украины некоторые оптимальные в благоприятных условиях параметры плодородия почв в неблагоприятных дают минимум урожая. Этот факт необходимо учитывать при планировании системы удобрений и других хозяйственных мероприятий на мелиорируемых землях.

Для возможности более корректного сравнения результатов разных опытов, а также для выявления естественного потенциала почв урожайность сельскохозяйственных культур целесообразно рассматривать на богаре без внесения удобрений.

Объектами агроэкологической группировки земель должны быть малые речные бассейны (не превышающие размеры природной зоны), как территории,

которые объединены потоками вещества и энергии. Нарушение направления функционирования какой-нибудь части бассейна обязательно отразится на функционировании всего бассейна.

Основными критериями группировки земель для выявления агроландшафтного потенциала является схожесть и выразительность факторов, лимитирующих продуктивность отдельных сельскохозяйственных культур. В качестве основных лимитирующих факторов выступают климатические (количество осадков, средняя температура воздуха, интенсивность осадков, влажность воздуха), почвенные (агрофизические и агрохимические свойства почв), физико-географические (высота над уровнем моря, залесенность, густота гидрографической сети, площадь водосбора) и антропогенные (распаханность).

Показателем выразительности лимитирующих факторов является их воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур. Удобно выражать это воздействие в математической форме, путем построения эмпирико-статистических зависимостей, которые служат основой для районирования территории по хозяйственным мероприятиям, которые в наибольшей степени оказывают влияние на рост урожайности отдельных сельскохозяйственных культур и не вступают в противоречие с естественными условиями в районе.

Исследование поверхностей влияния (урожайность =  $f(i$  - ый фактор произведение  $X$ -уравнений всех других факторов модели ( $K_i$ )) позволило получить некоторые границы оптимальных характеристик (табл.б.7)



**Таблица 6.7.** Оптимальные условия произрастания некоторых сельскохозяйственных культур в степной зоне Украины

Фактор	Сельскохозяйственная культура																
	озимая рожь			ячмень			сахарная свекла			горох			картофель		озимая пшеница		
	благоприятные *	не благоприятные *		благоприятные	не благоприятные		благоприятные	не благоприятные		благоприятные	не благоприятные		сприятливі	Несприятливі	благоприятные	не благоприятные	
	max	max	min	max	max	min	max	max	min	max	max	min	max	max	max	max	min
рН водный	6,89-6,97	5,9	7,0	6,9	6,9				6,9	6,9		6,97-7,03		7,1-7,2	7,1-7,2		
Азот подвижный, мг/100 г почвы	7,48-8,31	-	9,13	8,03	15,7-4,18	8,03				8,03-9,95	8,03-9,95		6,04	6,04			
Калий подвижный, мг/100 г почвы										10,9	10,9						
Фосфор подвижный, мг/100 г почвы	6,75-7,39						6,53-7,1										
Азот валовый, %												0,17	0,35				
Калий валовый, %				1,98	1,03	1,84-98	0,197-0,205										
Фосфор валовый, %				0,104		0,15	0,104-0,112		0,166	0,104-0,112		0,143					
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г почвы	36,5-39,1																
Диапазон активной влаги, %	16,1	30,9					32,8			16,1	16,9						
Аэрация при наименьшей влагоёмкости, %							27,1										
Наименьшая влагоемкость, %															30,2		
Общая пористость, %				57,1		54,1									58	54,6-55,6	
Влажность завядания, %				13,9	13,9												
Дисперстность по Качинскому												9,91	7,8		6,2	9,2 7,2	
Скорость впитывания почвы, мм/мин.	3,86											2,72	1,72		2,0		
Относительная влажность воздуха, %				74,0	74,0		74,0-74,7			74,1	74,1						
Высота водосбора, м	195	370; 125		195	195								242	242			
Густота гидрографической сети, км/км <sup>2</sup>													0,396				
Лесистость, %	0-3,38			0-3,38			0-2,63			0-5,63			8,0		>9,0		

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описание функционирования отдельных компонентов природных систем, создание математических моделей этих систем, позволяющих прогнозировать их изменение с течением времени или с изменением входящих в них параметров, является задачей востребованной как в производстве, так и в различных смежных отраслях науки, поскольку позволяет упростить решение поставленных перед ними проблем. Применение балансовых соотношений в решении ряда таких задач оправдало себя, как в определении испарения (один из наиболее точных методов) (Методы расчета водных балансов..., 1976 и др.), описания процессов почвообразования (В.Р.Волобуев, 1959, Ф.Н.Лисецкий, 2000 и др.), моделирования продуктивности агросистем (А.М.Польвовий, 2005) и т.п. Причем, А.М.Польвовим (2005, 2007 и др.) при моделировании продуктивности агросистем используется система уравнений радиационного, теплового, водного балансов и баланса биомассы (углевода и азота) в растительном покрове.

С целью же моделирования функционирования агроландшафтных комплексов, систему балансовых уравнений необходимо усложнить. Поскольку моделирование функционирования природно-антропогенных комплексов процесс многоуровневый, и в качестве наиболее удобной формы оптимизации такой системы рекомендуется система уравнений баланса вещества и энергии, а заключительным звеном в последовательности процедур (или событий) по созданию моделей высокопродуктивных устойчивых агросистем является оптимизация, то возможная последовательность в цепи оптимизации может выглядеть так как показано на схеме (рис.).

В систему ограничений баланса вещества (биомассы) входят характеристики климата (тепло, испарение, осадки и т.п.), достаточного биоразнообразия (контроль фитосанитарной обстановки), качества продукции (экологические нормы), конкуренции за ресурсы и т.п.

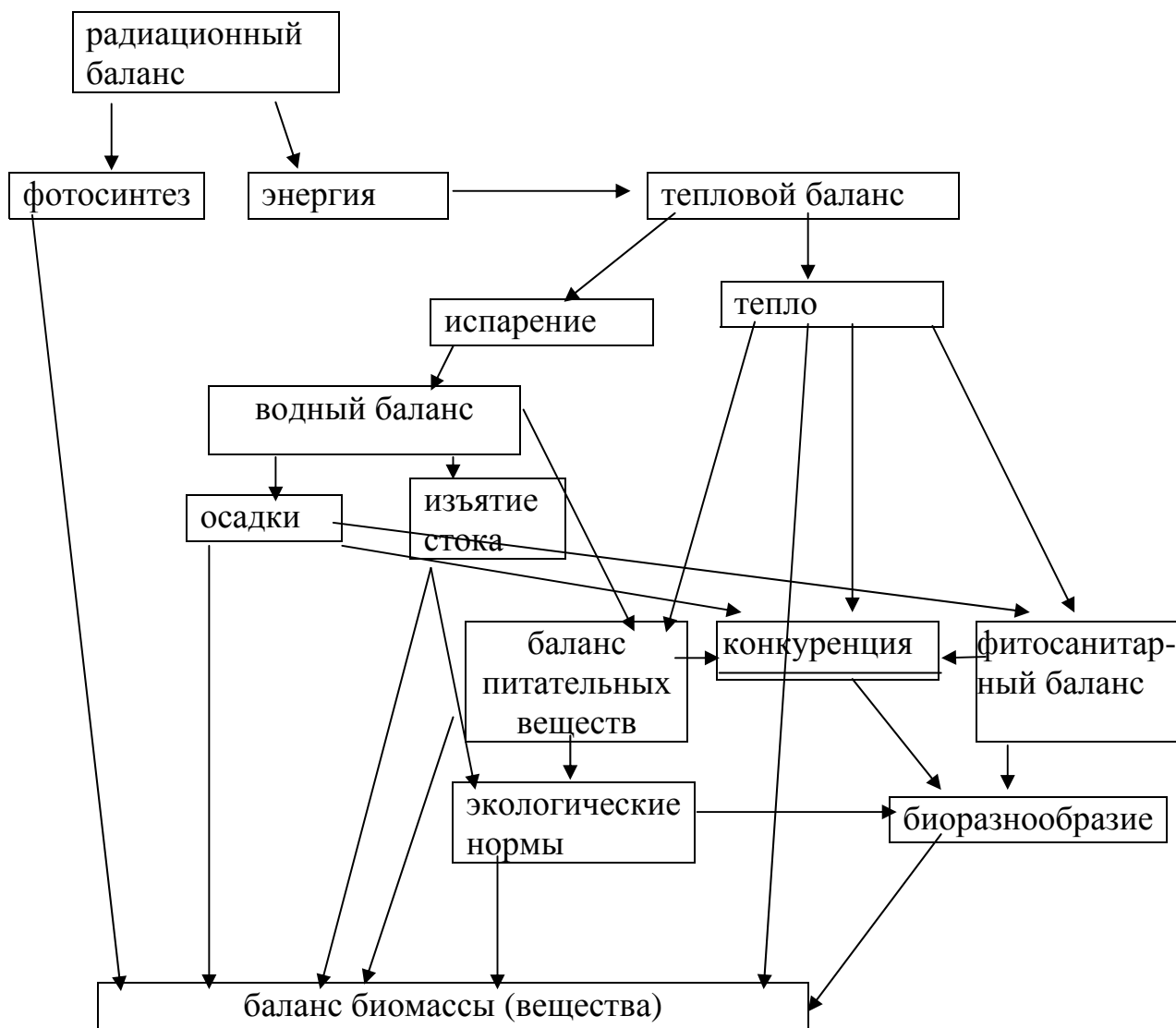
Водный баланс обеспечивает сбалансированность прихода и расхода водных ресурсов территории, в том числе и допустимые величины изъятия стока на хозяйственные нужды и является связующим звеном между балансом биомассы и радиационным и тепловым балансами через испарение, которое определяется природными особенностями поступления воды и тепла на конкретную территорию.

Тепловой баланс определяет обеспеченность территории возможностью реализовать ресурсы воды и биомассы для создания новой продукции.

Радиационный баланс определяет ресурсы энергии для фотосинтеза и нагревания поверхностей, что запускает механизмы переноса вещества и энергии, как по земной поверхности, так и преобразования материи в разные формы.

Ограничения в балансовых системах определяются соотношениями и взаимосвязями между отдельными компонентами биотических и абиотических составляющих агроландшафтов и могут быть представлены эмпирическими взаимосвязями между ними. Накопление эмпирических сведений позволяет

перейти от эмпирико-статистических представлений характерных для конкретных территорий ситуаций к более общим эмпирическим законам, нивелирующим или обобщающим локальные различия.



**Рис. Схема балансовых взаимосвязей в моделях функционирования агроландшафтных комплексов**

Представленную систему балансовых уравнений можно реализовать в виде многоуровневой модели, позволяющей определять первоочередность мер по сбалансированности природопользования в аграрном секторе, его экологической стабильности и высокой продуктивности. Широкий спектр вопросов, затрагиваемых в монографии показывает, что на современном уровне развития науки существует реальная возможность реализовать представленную схему.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамов Н.В., Салова Е.В. Исследование зависимости урожайности яровой пшеницы от содержания нитратного азота, подвижного фосфора и обменного калия в черноземе выщелоченном на основе математико-статистических методов. // *Агрохимия*, - 1997.- №3.- С.27-32.
2. Аверчев А.В. Гречиха на юге Украины.-Херсон,-2001.-328 с.
3. Агроклиматическое районирование пяти основных сельскохозяйственных культур на территории социалистических стран Европы.-София:БАН,- 1979.-123 с.
4. Агролесомелиорация./Под ред.Суса Н.И..-М.:Сельхозгиз.1959, 503с.
5. Агрохимические особенности и преимущества водорастворимых комплексных удобрений (НРК) – НОВОФЕРТ. // [http://www.bela-nova.com.ua/?page\\_id=54](http://www.bela-nova.com.ua/?page_id=54)
6. Алекин О.А. и др. К вопросу о влиянии удобрений на химический состав сбросных вод орошаемых территорий.// *Гидрохимические материалы*.- 1967.- Т.43.- С.137-148.
7. Алекин О.А. Моричева Н.П. К вопросу об определении агрессивной двуокиси углерода в некоторых природных водах. // *Гидрохимические материалы*.- 1967.- Т.43.- С.11-13.
8. Александрова Л.Н. Гумусовые вещества почвы (их образование, состав, свойства и значение в почвообразовании и плодородии)./ *Зап. Ленингр.СХИ.-Л.* -1970.-Т.142.-234 с.
9. Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда.- М.Наука,-2005.-223 с.
10. Алексеев С.Н. и др. Долговечность железобетона в агрессивных средах.- М.:Стройиздат.- 1990.- 320 с.
11. Алексеенко В.А., Алексеенко Л.П. Геохимические барьеры.-М.:Логос.-2003.- 144 с.
12. Алексеенко В.А. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых.- М.Логос.-2005.-354 с.
13. Алехин В.Т., Буров В.Н., Сухорученко Г.И. и др. Современное состояние борьбы с вредной черепашкой.// *Защита и карантин растений*.-2001.-№5.-С.7-8.
14. Андриянова Н.І. Зерноїди – шкідники бобових.// *Карантин і захист рослин*,- 2006.-№4.- С14-15.
15. Андриянова Н.І., Сікура О.А. Ризик проникнення та розповсюдження *Diabrotica virgifera virgifera* Le Cjnte у вільні від шкідника регіони України. // *Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Біологія*.-Вип.29.- 2010.- С.167-169.
16. Анисимова Т.Ю. Роль многолетних трав в борьбе с водной эрозией и продуктивность склонов. // *Кормопроизводство*.- 2005.- №10.- С.13-16.
17. Аніщенко Л.Я. Розрахункові показники для критеріїв екологічно безпечних рівнів відбору води з малих річок.// *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*,- №5.- 2008.- С.59-65.
18. Анохин В.Л. Алгоритмы исчисления водного режима ландшафтов суши для математической модели миграционных процессов. // *Почвоведение*.-1971.-№1.-С.92-102.
19. Арманд А.Д. Информационные модели природных комплексов.- М.Наука.- 1975.- 125с.
20. Афанасьев В.Г. Основы философских знаний.-М.:Мысль.-1986.-399 с.
21. Афонин А.Н., Ли Ю.С. Эколого-географический подход на базе географических информационных технологий в изучении экологии и распространения биологических объектов/BioGIS Journal–2011-1,[http://www.biogis.ru/BioGIS/stati\\_v\\_biogis/2011\\_01/2011\\_01.php](http://www.biogis.ru/BioGIS/stati_v_biogis/2011_01/2011_01.php).
22. Ашабоков Б.А., Бисчоков Р.М. Прогнозирование урожайности с учетом изменений агрометеорологических факторов.// *Аграрная наука*,- 2008.- №8.-С.6-7.
23. Бабіченко В.М., Ніколаєва Н.В., Рудішина С.Ф., Гущина Л.М. Настання весняного сезону в Україні (перехід середньої добової температури повітря через 0°C) в умовах сучасного клімату.// *Український географічний журнал*,-2009.-№1.-С.25-35.
24. Базилевич Н.И. Продуктивность, биогеохимия современной биосферы и функциональные модели экосистем.// *Почвоведение*.-1979.-№2.-С.5-20.

25. Базыкин А.Д., Березовская Ф.С., Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г. Анализ стереотипов динамики лесных насекомых.// Журнал общей биологии.-1995.- Т.56.-№2.-С.191-199.
26. Баликіна О.Б. Прогноз розвитку та шкідливості домінуючих фітофагів яблуні в Криму. // Карантин і захист рослин, 2012.- №9.- С.16-18.
27. Батталов Ф.З. Сельскохозяйственная продуктивность климата.-Л.:Гидрометиздат,- 1980.-112 с.
28. Бачишин Б.Д., Шульган Р.Б. Врахування впливу забруднення атмосфери і ґрунтів промисловими підприємствами в процесі оцінювання сільськогосподарських угідь.// Вісник геодезії та картографії,-2009.-№5(62).- С.31-37.
29. Башинський О.В. Повідомлення служби звіту ЄОКЗР.// Карантин і захист рослин,- 2006.- №1.- С13-14.
30. Баширов Г. Однолетние культуры в междурядьях.// Садоводство.-1970.-№3.- С.29.
31. Белолипский В.А. и др. Методические указания по определению потенциального стока с элементарных водосборов и проектированию почвоводоохранных мероприятий при контурно-мелиоративном земледелии.-Луганск: УНИИЗПЭ,- 1990.- 35 с.
32. Белоліпський В.О. Ґрунтоводоохоронна оптимізація агроландшафтів.- Суми: університетська книга.- 2012.- 399 с.
33. Белоусова З.Н. Количественная оценка условий формирования урожая пастбищных трав и прогноз максимальной высоты полыни и злаковых трав.// Метеорология и гидрология.-1970.-№6.-С.96-99.
34. Белоусова Н.И., Назимова Д.И., Андреева Н.М. Анализ почвенно-климатических связей на основе почвенной карты и базы данных «Биом».// Почвоведение.- 2012.- №2.- С.131-141.
35. Бельгард А.Л. Лесная растительность юго-востока УССР.-К.:КНУ им.Т.Г.Шевченко,- 1950.-256 с.
36. Бережков В.С., Красницкий В.С., Коробочкин М.И. Вычислительная техника. Методические указания по изучению дисциплины.-М.:ВСХИЗО.-1984.
37. Біленко І.І. Фізичний словник.-К.:Вища школа.-1993.-319 с.
38. Битков Л.М. Формирование лесных биосистем с помощью хронобиологических подходов.// Известия ТСХА,- Вып. 3.- 2008.- С.145-148.
39. Битков Л.М. Связь лесообразовательного процесса с биоритмом вегетативного роста деревьев.// Лесное хозяйство.- 2008.- №4.- С.24-25.
40. Бобнев А.Д. Залужение сада и заморозки.//Садоводство.-1980.-№9.-С.24.
41. Богобоящий В.В. та ін. Принципи моделювання та прогнозування в екології.-К.- 2004.- 216 с.
42. Божко Л.Е. Оценка агроклиматических ресурсов возделывания овощных культур в Украине.// Вісник Одеського державного екологічного університету.-2006.-Вип.3.- С.86-95.
43. Божко Л.Ю. Вплив агрометеорологічних умов на фотосинтетичну продуктивність овочевих культур.// Вісник ОДЕУ.- 2007.-Вип.7.-С.155-163.
44. Божко Л.Е. Радиационные факторы и продуктивность овощных культур.// Український гідрометеорологічний журнал.-2007.-№2.-С.105-118.
45. Божко Л.Ю., Борсукова О.А. Оцінка агрокліматичних умов формування продуктивності овочевих культур в Україні.// Вісник Одеського державного екологічного університету,- 2009.-Вип.7.-С.101-109.
46. Боков В.А. Организация воздушных и водных потоков и природные комплексы. / В. сб.:Геофизика ландшафта (теоретические аспекты).- М.:Мысль.-1981.-С.68-77.
47. Боков В.А., Ена А.В., Ена В.Г. и др. Геоэкология.- Симферополь: Таврия,- 1996.- 384 с.
48. Боков В.А., Будник С.В. Модели оптимизации функционирования агроландшафтов на основе исследования бассейновых систем.// Вісник аграрної науки.- 1996.- №9.- С.12-16.
49. Болотских А.С. Капуста.-Харьков.-2002.- 320 с.
50. Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Тихонравова П.И. и др. Агрофизические свойства и режимы почв в решение современных проблем почвоведения и земледелия.// Проблемы почвоведения. К 75-летию со дня рождения Л.Л.Шишова,- М., 2006.-С.56-81.

51. Борисюк В. Продуктивність як якість вівсяно-бобових сумішок залежно від співвідношення компонентів./В зб.: Науково практичні аспекти кормовиробництва та ефективного використання кормів.-Львів.-2003.-С.310-314.
52. Бублик М.О. Методологічні та технологічні основи підвищення продуктивності сучасного садівництва.- К.: Нора-Друк.-2005.-288 с.
53. Бугай С.М. Растениеводство.-К.:Вища школа.-1978.-384 с.
54. Будаговский А.И. Испарение почвенной влаги.- М.:Наука, 1964.- 242 с.
55. Будаговский А.И. Уточнение моделей испарения почвенных вод // Водные ресурсы. 1986.- №5.- С.58-69.
56. Буджерак А.И., Бердинец В.К. Пути повышения эффективности применения удобрений на черноземах реградированных Лесостепи Украины./Вісник аграрної науки,-1994.-№8.- С.26-34.
57. Будник С.В. Оптимизационные модели функционирования агроландшафтов Крыма на основе исследования бассейновых систем.- Диссертация на соиск. ученой степени канд.геогр.наук,- Симферополь.-1996.-375 с.
58. Буднік С.В. та інш. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробити теоретичні основи та методи комплексної меліорації агроландшафтів».-К.-2000.-133 с.
59. Будник С.В. Агрессивность водных растворов, почвы и миграция веществ на склонах.// Людина і довкілля. Проблеми неоекології,- Вип.ІІІ.- 2002.- С.37-42.
60. Будник С.В. Некоторые принципы размещения противозерозионных сооружений на склонах с учетом их пространственной устойчивости /Взб.:Агрохімія і ґрунтознавство.- 2002.- Вип.63.- С.103-110.
61. Буднік С.В. Гідралічні та гідрохімічні особливості стоку при зрошенні // Водне господарство України.- 2003.- №5-6.- С.28-32.
62. Буднік С.В. Взаємозв'язок гідрохімічних та гідродинамічних характеристик схилового стоку при сніготаненні // Водне господарство України.- 2004.- №1-2.- С.15-20.
63. Будник С.В. Оптимизация агроландшафтов.- Житомир.-2007.- 311 с.
64. Бudyко М.И. Тепловой баланс земной поверхности.- Л.:Гидрометиздат.-1956.-255 с.
65. Бudyко М.И. Климат и жизнь.-Л.:Гидрометиздат.-1971.-470 с.
66. Бudyко М.И. Климат в прошлом и будущем.-Л.:Гидрометиздат.-1980.-351 с.
67. Булигін С.Ю. Формування екологічно сталих агроландшафтів.- К.: Урожай, 2005.- 300с.
68. Бунина Н.П., Шабанов В.В. и др. Способ регулирования водного режима низинного торфяника. Патент № 1801160.- 1992.
69. Бурькин А.М., Засорина Э.В. Процессы минерализации и гумификации растительных остатков в молодых почвах техногенных экосистем.// Почвоведение,-1989.-№2.-С.61-69.
70. Бышовец Л.Б. Расчетное испарение с прудов и малых водохранилищ Украины //Труды Укр.НИГМИ. вып.217. 1986. С.117-127.
71. Вавилов П.П., Грищенко В.В., Кузнецов В.С. и др. Растениеводство.- М.:Агропромиздат.-1986.-512 с.
72. Вальков В.Ф. О бонитировке садовых почв. // Садоводство,- 1980.- №11.- С.9.
73. Величко А.Б. Роль лесных насаждений в предотвращении загрязнения водных объектов поверхностным стоком в связи с широким применением минеральных удобрений в зоне типичных черноземов Левобережной лесостепи УССР. 1986. Автореферат.
74. Величко В.А. Моделювання продуктивної здатності ґрунтів за агропотенціалами сільськогосподарських культур.// Вісник аграрної науки,- 2009.- №3.- С.17-23.
75. Вергунова І.М. Основи математичного моделювання для аналізу та прогнозу агрономічних процесів.- К. 2000.-146 с.
76. Вивальнюк Л.М.та ін. Задачі оптимізації.-К.:Радянська шк., 1991, 175с.
77. Вилкова Н.А., Фасулати С.Р., Кандыбин Н.В. и др. Биологические факторы экспансии колорадского жука.// Защита и карантин растений.-2001.-№1.-С.19-23.
78. Винников С.Д., Проскураков Б.В. Гидрофизика.-Л.:Гидрометиздат, 1988.- 248 с.

79. Вишинський О.М., Закрівна М.П. Вплив аміачної води на фізико-хімічні властивості ґрунту.// Вісник аграрної науки.- 1966.- №2.- С.22-30.
80. Войнов О.А. Мониторинг состояния агроценозов аэрокосмическими методами.-К.-2005.-392 с.
81. Волобуев В.Р. Энергетика почвообразования.// Изв.АН СССР.- сер.биол.-1959.-№1.- С.45-54.
82. Волобуев В.Р. Биоэнергетика и ее задачи. //Вестн. АН СССР.-1969.- №4.- С.78-81.
83. Вольвач П.В. Защита растений в садах, виноградниках и огородах.- Симферополь:Таврия,-1989.-208 с.
84. Вольвач О.В. Метод оцінки та прогнозування агрометеорологічних умов формування врожайності цукрового буряку в Україні.// Автореф. дис. На соискание уч. степени канд. геогр. наук.- Одеса,- 1995.- 18 с.
85. Второва О. Точный сценарий климатических изменений на Земле появится к 2016 году.// [www.rian.ru](http://www.rian.ru).- 2007.
86. Второе национальное сообщение Украины по вопросам изменения климата.-К.-2006.-83 с.
87. Гаврилюк М.М. та інші. Олійні культури в Україні.- К.: 2008.-420 с.
88. Галеев Э.М.,Тихомиров В.М. Краткий курс теории экстремальных задач.- М.:Изд-во МГУ, -1989.- 204 с.
89. Галицкий В.В. О моделировании продукционного процесса в растительном сообществе.//В кн.: Моделирование биоценологических процессов. - М.Наука.- 1981.- С.104-118.
90. Галицкий В.В., Крылов А.А. Моделирование динамики растительных сообществ. Двумерная модель одновидового сообщества.- Пушкино.-1984.-47 с.
91. Галицкий В.И. Оптимизация природной среды.-К.:Наукова думка.-1989.-172 с.
92. Галич М.А., Стрельченко В.П. Агроекологічні основи використання земельних ресурсів Житомирщини.-Житомир.:Волинь.-2004.-184 с.
93. Галущенко Н.Г. Водный баланс рек Украинского Полесья. // Труды УкрНИИГМИ. - 1982. -Вып.192.- С.33-42.
94. Галюк И.П., Дмитренко В.П., Перелет Н.А. Методические указания по составлению прогноза средней областной урожайности и валового сбора сахарной свеклы по территории Украинской ССР и Молдавской ССР.- К.: Фол УкрУГКС,- 1986.- 23 с.
95. Ганжара Н.Ф. О коэффициенте гумификации и методическом подходе к определению гумусового баланса в почвах.//Почвоведение.-1979.-№4.-С.139-147.
96. Гарюгин Г.А. Об оптимальной влажности почвы. // Вестник сельскохозяйственной науки.- 1979.- №7 .- С.94-97.
97. Гафуров В.К. Влияние интенсивности испарения и испаряемости на величину критической влажности почв // Почвоведение. 1984. №2. С.149-152.
98. Геннадиев А.Н., Жидкин А.П. Типизация склоновых сопряжений почв по количественным проявлениям смыва-намыва вещества.// Почвоведение.- 2012.-№1.- С.21-31.
99. Геохимические барьеры и их значение в защите подземных вод от загрязнения. М.: МГУ,- 1990.
100. Герасименко В.П. Среднегодовое смыв почвы на пашне в различных природных и сельскохозяйственных условиях.// Почвоведение, -1995.- №5.- С.608-616.
101. Гіржева К.Б. Роль фізичних показників ґрунту у регіональних педотрансферних оцінних моделях.// Вісник аграрної науки.-2006.-№11.-С.72-74.
102. Глазовская М.А. О геохимических принципах классификации природных ландшафтов. В сб. «Геохимия степей и пустынь». //Вопросы географии, 1962. № 59.
103. Глазовская М.А., Макунина А.А. Геохимия ландшафтов и поиск месторождений (на примере Южного Урала). М.: МГУ. 1961.

104. Говорухин В.Н., Моргулис А.Б., Сенина И.Н., Тютюнов Ю.В. Моделирование активных миграций пространственно распределенной популяции.// Обозрение прикладной и промышленной математики,-1999.-Т.6.-Вып.2.-С.273-295.
105. Голованов А. И., Кожанов Е.С., Сухарев Ю.И. Ландшафтоведение. М.: Колос, 2004.
106. Горев Л.Н., Пелешенко В.И., Критичный В.В. Методика оптимизации природной среды обитания.- К.:Лыбидь.-1992.-526 с.
107. Горина В.М., Рихтер А.А. Влияние внешних факторов на продуктивность абрикоса в Крыму. //Материалы международного симпозиума «Физиолого-биохимические основы продукционного процесса.»-Саратов.- 2010.-С.20-22.
108. Господаренко Г.М., Єщенко В.О., Полторецький С.П. та інш. Системи технологій в рослинництві.- Умань,- 2008.- 368 с.
109. ГОСТ Р 54139-2010. Экологический менеджмент. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Изменение климата.-М.: Стандартиформ.-2012.- 45 с.
110. Грани гидрологии. /Под ред.Дж.К.Родда. Т.2.- Л.Гидрометиздат.-1987.-535 с.
111. Гребенюк Н.П., Барабаш М.Б. Про зміни температури повітря в містах України у процесі урбанізації.// Наук.праці УкрНДГМІ,-2004.0Вип.253.-С.148-154.
112. Гречин И.П., Замараев А.Г., Макарова Т.И. Накопление углерода в корнеобитаемом слое почвы под овсом.// Доклады ТСХА,- Вып.162.- 1971.- С. 85-88.
113. Гринь Г.С., Крупський М.К. Принципи агрогрунтового районування Української РСР./В сб.:Агрохімія і ґрунтознавство, вип.12, -К.Урожай, 1969, с.3-26.
114. Гришина Л.А. Поток органического вещества и биогеохимические циклы азота, фосфора и калия в естественных и агроценозах лесной зоны.// Почвоведение.-1984.-№12.- С.79-86.
115. Гродзинський М.Д. Основи ландшафтної екології.-К.Либидь.-1993.-224 с.
116. Гудзон Н. Охрана почвы и борьба с эрозией.-М.:Колос.-1974.-304 с.
117. Гуляев Б.И., Рожко И.И., Рогаченко А.Д. и др. Фотосинтез, продукционный процесс и продуктивность растений.-К.:Наукова думка, - 1989.-151 с.
118. Гуляк Н.В. Чергування культур та пошкодження посівів кукурудзи личинками коваликів.// Карантин і захист рослин,- 2012.- №9.- С.1-2.
119. Давитая Ф.Ф., Мельник Ю.С. Проблемы прогноза испаряемости и оросительных норм.- Л.Гидрометиздат.- 1970.- 71 с.
120. Данилова Г.Н. Об изменении минерализации воды при выщелачивании алюмосиликатных изверженных горных пород и минералов.// Гидрохимические материалы.-1967.- Т.43.- С.95-106.
121. Данилов-Данильян В.И., Хранович И.Л. Управление водными ресурсами. Согласование стратегий водопользования.-М.:Научный мир.-2010.-232 с.
122. Девятов А.С., Радюк В.А. О влажности завядания растений. //Садоводство.- 1971.-№7.- С.16.
123. Девятых В.А., Панов Н.П. Биологический круговорот зольных веществ и азота в почвах солонцового комплекса северо-западного Прикаспия.// Доклады ТСХА,- Вып.162.- 1971.- С.41-45.
124. Деордица Ю.С., Нефедов Ю.М. Исследование операций в планировании и управлении.- К.:Выща школа,- 1991.- 204 с.
125. Джефферс Дж. Введение в системный анализ: применение в экологии.-М.:Мир,- 1981.- 256 с.
126. Дмитренко В.П. Методическое пособие по анализу и количественной оценке агрометеорологических условий выращивания зерновых культур в отдельном районе.- Л.:Гидрометиздат.-1980.-49 с.
127. Дмитренко В.П. Плідність клімату, родючість ґрунтів і врожай.// Наук. праці Укр.НДГМІ,- 2005.-Вип.254.-С.95-113.



128. Дмитренко В.П., Осадча Н.М., Чернецька С.А. Про вплив метеорологічних чинників на гумусові речовини ґрунтових та водних екосистем.// Наук. праці Укр.НДГМІ,- 2005.- Вип.254.-С.114-135.
129. Дмитренко Л.В. Регіональні зміни прямої сонячної радіації.// Наук.праці УкрНДГМІ,- 2002.-Вип.250.-С.
130. Добровольский В.В. Геохимия почв и ландшафтов.- М.:Научный мир,- 2009.- 752 с.
131. Довгеля О.М., Федоренко А.В., Довгеля В.М. Вплив чергування культур на заселеність агроценозів шкідниками у зоні Центрального Лісостепу України.// Наук.зб.:Захист і карантин рослин,- 2008.-Вип.54.- С.172-179.
132. Довідник картопляра. /За ред.В.А.Вітенка та інш.-К.:Урожай.-1985.-200 с.
133. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України./За ред. Б.С.Носка та інш..-К.:Урожай.-1994.-333 с.
134. Довідник по удобренню сільськогосподарських культур. // За ред. П.О.Дмитренка, Б.С.Носка.- К.:Урожай.-1987.-207 с.
135. Долгих Е.Д., Соколов И.Д., Мостовой О.А. Многолетняя динамика показателя «Баланс влаги» в Луганской области. /Зб.наук.праць ЛНАУ.- №66(89).- 2006.- С.135-143.
136. Долгов С.В., Коронкевич Н.И. Высотно-пространственный и пространственно-временной анализ водного баланса Европейской части России.// Водные ресурсы,- 2010.-Том 37.- №2.- С.134-149.
137. Домбровский Ю.А., Тютюнов Ю.В. Структура ареала, подвижность особей и живучесть популяции.// Журнал общей биологии,-1987.-Т.XLVIII.-№4.-С.493-498.
138. Домбровский Ю.А., Тютюнов Ю.В. О связи видового разнообразия с территориальными размерами изолятов. //Экология,-1987.-№3.-С.3-7.
139. Драгавцева И.А., Яковук В.А. Абрикос.Краснодарский край.// Садоводство.-1977.-№7.- С.20-21.
140. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів.- К.Держспоживстандарт України.- 2006.- 19 с.
141. Дубенок Н.Н., Сухарев В.И. Водный баланс агрорландшафтов Центрального Черноземья и его регулирование.-М.:Колос,-2010.-188 с.
142. Дударь А.К. Карты засоренности – садам и ягодникам.//Садоводство.-1980.-№3.-С.11-12.
143. Дудкин И.В. Травянистая растительность защитных лесных насаждений и примыкающих к ним полевых дорог.// Лесное хозяйство,-2009.-№2.- С.27-28.
144. Дудченко В.І., Риковський В.Я., Харчук А.С., Мороз О.С. Продуктивність травостою багаторічних трав залежно від видового складу травосумішок в умовах західного Полісся України.// Корми і кормовиробництво,-2004.-Вип.54.-С.66-68.
145. Думнов А.Д. Международные сравнения водопользования в Российской Федерации и ряде стран мира.//Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России».- 2008.- №5.- С.15-28.
146. Ендрюс Джон, Рібейн Майкл Сільське господарство та охорона природи. Посібник із практичного управління, відновлення та створення природних біотопів на сільгоспугіддях.- К.-2006.-288 с.
147. Ерижев К.А., Тамов М.Ч. Роль удобрений в повышении качества сена природных угодий. // Кормопроизводство, - 2003.- №7.- С. 7-10.
148. Ермакова Л.Н., Толмачева Н.И. Прогноз урожайности яровой пшеницы на Урале синоптико-статистическим методом. // Научн. Журн. Пермского ун-та «Географический вестник»,-2006.-№2.-С.111-117.
149. Ерусалимский В.И. О лесистости.// Лесное хозяйство,- 2009.- №5.- С.13-14.
150. Ефимова М.Р. и др. Общая теория статистики.-М.:ИНФРА-М,- 1997.- 416 с.
151. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СРСР.- Л.:Гидрометиздат.-1982.-231 с.

152. Жиганов Ю.И. Агролесомелиоративные мероприятия по борьбе с засухой и суховеями.- М.:1977.-52 с.
153. Животков Л.А., Бирюков С.В., Степаненко А.Я. и др. Пшеница.-К.:Урожай.- 1989.- 320с.
154. Жилиев Г.Г. Жизнеспособность популяций растений.-Львов,-2005.- 304 с.
155. Жмаева Г.П., Кучмент Л.С. Определение показателей потерь стока для долгосрочных прогнозов весеннего половодья //Метеорология и гидрология.- 1979.- №2.- С.73-79.
156. Жуков В.А. К вопросу оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с учетом влияния неблагоприятных погодных условий. // Метеорология и гидрология.-1982.- №11.- С.99-107.
157. Журавлев А. Как из тундры сделать степь? // National geographic,- 2012.- №1.- С.125-129.
158. Жученко А.А. Адаптивное растениеводство (эколого-генетические основы).- Кишинев:Штиинца.-1990.-432 с.
159. Загреев В.В., Сухих В.И., Швидечко А.З и др. Общесоюзные нормативы для таксации лесов.-М.:Колос,- 1992.-495 с.
160. Зайдельман Ф.Р. Агроландшафтное районирование для земледелия и мелиорации почв гумидной зоны.// мелиорация и водное хозяйство, 1997, №2, стр.34-38.
161. Зайков Б.Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР //Труды ГГИ. Вып.21(75). 1949. 54 с.
162. Закруткин В.Е., Рышков М.М., Шишкина Д.Ю. и др. Агроэкосистемы влагодефицитных районов, их хозяйственная емкость и перспективы устойчивого функционирования.// Известия РАН, серия географическая.-2002.-№3.-С.69-78.
163. Заславский М.Н. Об учете природных условий склоновых земель при выборе противозерозионных приемов обработки почв.//Почвоведение,-1972.- №12.- С.99-104.
164. Захаренко В.А. Тенденции изменения потерь урожая сельскохозяйственных культур от вредных организмов в земледелии в условиях реформирования экономики России.// Агрехимия,- 1997.- №3.- С.67-75.
165. Зволинский О.В., Зволинский В.П., Батовская Е.К. Земледелие в почвенных условиях аридных зон Российской Федерации./ В кн.: Проблемы рационального природопользования аридных зон Евразии./ Под ред. А.Н.Каштанова.- М.:Изд.моск.ун-та.- 2000.- С.34-50.
166. Звонкова Т.В. Географическая экспертиза проектов в целях охраны природы.//В сб.:Географическое прогнозирование и охрана природы.-М.МГУ,-1990.- С.113-119.
167. Здоровцов И.П., Дощечкина Г.В., Зарудна Т.Я. Оптимизация соотношения земельных угодий в эрозионноопасных агроландшафтах./Научн. труды почвенного института им. В.В.Докучаева,- М.-2007.- С.246-257.
168. Зерова М.Д., Никитенко Г.Н., Нарольский Н.Б. и др. Каштановая минирующая моль в Украине.-К.-2007.-88 с.
169. Зиновьева С. Западный кукурузный жук уже в России. // 2012.-<http://agropost.ru/rasteniievodstvo/bolezni-vrediteli/zapadnyy-kukuruzniy-zhuk-uzhe-v-rossii.html>
170. Зотов С.И. Моделирование состояния геосистем.-Калининград:Изд-во КГУ.-2001.-237с.
171. Зыбалов В.С. Экологическая оптимизация структуры агроценозов агроэкосистем Южного Урала.-Челябинск.-2001.-185 с.
172. Иванов А.М. Морозоустойчивость плодовых деревьев на разных элементах рельефа.// Садоводство.-1981.-№10.-С.16.
173. Иванова Е.Н. и др. почвенно-географическое районирование СССР.//Почвоведение,- 1958.- №10.- С.1-11.
174. Иващенко О.О. Бур'яни в агрофітоценозах. Проблеми практичної гербології.-К.-2001.- 235 с.
175. Ивонин В.М., Засоба В.В. почвозащитные функции степных лесных насаждений.// Почвоведение,-1989.-№2.-С.87-98.
176. Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д., Степаницкий В.Б. Почвозащитная роль горных лесов в районах строительства олимпийских объектов.// Лесное хозяйство,- 2009.- №6.- С.22-25.

177. Ижевский С.С. Вероятность заноса в Россию новых насекомых – вредителей подсолнечника // Энтотомол. обзор.- 1997.- Т. LXXVI.- № 2.- С. 265-277.
178. Ижевский С.С. Проникновение чужеземных растительноядных насекомых на территорию России // Защита и карантин растений. 2002. -№ 1.- С. 28-31.
179. Иконникова В.В. влияние различных сроков сева на формирование листового аппарата гороха.// Вісник Одеського державного екологічного університету,-2009.-№8.-С.104-112.
180. Инсаров Г.Э., Инсарова И.Д. Система районирования земли для целей мониторинга эпифитных лишайников./В кн. Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.- Л.:Гидрометиздат, 1991,Т.13, с.112-130.
181. Исаев А.С., Хлебопрос Р.Г., Недорезов Л.В. Динамика численности популяций насекомых-фитофагов и устойчивость лесных биогеоценозов. /В сб.:Моделирование биоценологических процессов.-М.Наука.-1981.-С.148-151.
182. Исаков Ю.А., Казанская Н.С., Панфилов Д.В. Классификация, география и антропогенная трансформация экосистем.-М.-1978.-154 с.
183. Исаченко А.Г. Оптимизация природной среды (географический аспект).- М.Мысль.-1980.-264 с
184. Исаченко А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование.- М.:Высшая школа. 1991, 366 с.
185. Каганер М.С., Дюкель Н.Г. Испарение с водной поверхности на территории Украины и Молдавии.//Укр.НИГМИ. вып.64. 1966. С.155-180
186. Казьмір П. Ландшафтно-екологічний підхід до впорядкування кормових угідь Львівщини. /В зб.: Науково практичні аспекти кормовиробництва та ефективного використання кормів.-Львів.-2003.-С.35-39.
187. Калініченко А.В. Оптимізаційні методи в аграрному виробництві (методичні рекомендації).-К. 2004.- 69 с.
188. Калініченко А.В. Оптимальное використання земельних ресурсів – надійний засіб досягнення збалансованості агроєкосистем. //Агроєкологічний журнал.-2005.-№1.-С.15-22.
189. Калініченко О.А. Декоративна дендрологія.-К, - 2003.- 199 с.
190. Кальной П.Г., Гордиенко М.И., Корецкий Г.С. Лесные культуры.-К.:Высшая школа.-1986.-247 с.
191. Каменской А.С. Методология системных исследований в сельском хозяйстве.- М.:ВАСХНИЛ, ВНИИТЭИСХ,- 1984.- 70 с.
192. Кант Г. Биологическое растениеводство: возможности биологических агросистем.- М.:Агропромиздат.-1988.-207 с.
193. Капогузов В.В. Междурядные культуры и товарность яблок.// Садоводство,-1970.-№5.- С.20.
194. Карантин і захист рослин. (Сільськогосподарська нематологія як розділ науки захисту рослин).- 2012.- №8.- С.22-28.
195. Карасев И.Ф. режимно-экологическая номенклатура расходов воды в речных системах. // Метеорология и гидрология.- 2008.-№10.- С.86-93.
196. Карлашук С.В., Федоренко В.П. ентомокомплексы на экотонах типового агроландшафту центрального Лісостепу України.// Карантин і захист рослин,- 2004.-№5.- С.27-28.
197. Карманов В.Г. Математическое программирование.-М.Наука,- 1988.- 288 с.
198. Кароль И.Л., Фролькис В.А., Киселев А.А. радиационный и термический режим атмосферы и климатическая система: индексы внешнего воздействия и их оценка.// Труды ГГО им.Воейков,-2009.-Вып.560.-С.33-50.
199. Каштанов А.Н., Лисецкий Ф.Н., Швобс Г.И. Основы ландшафтно-экологического земледелия.- М.:Колос.-1994.-127 с.
200. Каулина К.И. Результаты изучения испарения с почвы в Каменной степи различными методами // Материалы междуведомственного совещания по проблеме изучения испарения с поверхности суши. -Валдай. 1961. С.171-181.

201. Кауричев И.С., Ганжара Н.Ф. Скорость и направленность процессов превращения органических веществ в дерново-подзолистых почвах.// Доклады ТСХА,- Вып.162.- 1971.- С.5-9.
202. Кизима Г.А. Энциклопедия розумного огородника: как посадишь, так поешь.- М.:АСТ:Астрель,-2010.-288 с.
203. Кизяков Ю.Е. О понятиях:почва и плодородие почв.//Вісник Харківського національного аграрного університету ім.В.В.Докучаєва.-Серія «Грунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство».-2001.-№1.-С.38-42.
204. Кірнасівська Н.В. Агрокліматична оцінка загальної біологічної продуктивності клімату на території центральної України для вирощування кукурудзи. // Вісник Одеського державного екологічного університету.- 2009.- Вип.7.- С. 120-132.
205. Кислов А.В. Учет изменчивости начального состояния в стохастической модели влажности почвы // Метеорология и гидрология. 1991. №8. С. 109-111
206. Клечковский Ю.Е., Могилюк Н.Т., Чебановська Г.Ф. розповсюдження гумаю. Використання ГІС-технології для визначення можливості подальшого розповсюдження карантинного бур'яну сорго алепського в Україні.// карантин і захист рослин,- №8.- 2012.- С.19-21.
207. Климат Беларуси./ Под ред. В.Ф.Логинова.-Минск: Ин-т геологич. наук АН Беларуси,- 1996.-234 с.
208. Клімат України./ За ред. В.М.Липінського та інш..-К.-2003.-343 с.
209. Ковалев В.М. Теоретические основы оптимизации формирования урожая (теория урожая).-М.Изд.МСХА.-2000.-327 с.
210. Ковалевский В.С., Раткович Д.Я. Об экологически допустимых изъятиях речных вод. //Водные ресурсы .- 2003.- №1.- С.117-122.
211. Коваленков В.Г. Особенности качественной и структурной перестройки энтомофауны в агроландшафтах России.// Доклады РАН,- 2005.- №2.- С.20-23.
212. Ковда В.А. Управление продуктивностью экосистем.//Почвоведение.-1980.-№5.-С.7-19.
213. Козлов М.В., Мельник А.І., Москальов Є.Л. Оптимізація сучасних систем землекористування на прикладі Чернігівської області. (Методичні рекомендації).- К.-2004.- 19 с.
214. Козловский Ф.И. Структурно-функциональная и математическая модель миграционных ландшафтно-геохимических процессов.//Почвоведение.-1972.-№4.-С.122-138.
215. Козяр О.М., Ярмоленко О.В., Лещенко Ю.В. та інш. Динаміка ботанічного складу травостою сіяної сіножаті залежно від його складу та рівня мінерального удобрення в умовах Правобережного лісостепу України.// Корми і кормовиробництво.-2004.-Вип.54.- С.54-60.
216. Колеснін Л.І. Сезонний розвиток капустиної совки та його прогнозування.// Вісник Полтавської державної аграрної академії,- 2009.-№1.- С.19-22.
217. Колмогоров А.Н., Петровский И.Г., Пискунов Н.С. Исследование уравнения диффузии, соединенной с возрастанием количества вещества, и его применение к одной биологической проблеме.//Бюллетень МГУ.-Сер.А.-1937.-№6.-С.1-26.
218. Коломейченко В.В., Наконечный А.Г., Дегтярева С.И. Об улучшении сотрудничества между физиологами и агрономами по практическому использованию показателей продукционного процесса.//Материалы международного симпозиума «Физиолого-биохимические основы продукционного процесса.-Саратов.-«2010.-С.42-44.
219. Коломыц Э.Г. Региональная биоклиматическая система и ее прогнозное значение.// Известия РАН серия географическая, 2002.-№6.-С.75-85.
220. Колосов П.А. Принципы исследования устойчивости увлажнения по данным многолетних наблюдений за климатическими величинами./ В сб.: Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.-Т.ХІІ.-1991.-С.131-141.
221. Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. Введение в информатику с позиций математического моделирования./Авт.пред.А.А.Самарский.-М.:Наука, -1988.- 176 с.

222. Кондратьев С.А. Оценка возможных антропогенных изменений стока и выноса биогенных элементов с малых водосборов лесной зоны на основе математической модели // Водные ресурсы,- 1990.- №3.- С.24-32.
223. Кондратьев С.А., Бовыкин И.В. Влияние возможных климатических изменений на гидрологический режим системы водосбор - озеро // Метеорология и гидрология. 2003. №10. С.86-96.
224. Коноваленков В.Г. Особенности качественной и структурной перестройки энтомофауны в агроландшафтах юга России.//Докл.РАСХН.-2005.-№2.-С.20-23.
225. Коновалов А.А. Климат, фитопродуктивность и палиноспектры: связи, распространение и методика палеореконовструкций (на примере Западной Сибири).-Новосибирск.-2007.-130с.
226. Константинов А.Р. Погода, почва и урожай озимой пшеницы.-Л.:Гидрометиздат.-1978.-263 с.
227. Константинов А.Р. Испарение в природе.- Л.:Гидрометиздат. 1968. 532с.
228. Константинова Н.А., Маковецька О.І., Орябко В.О., Дем'янович В.М. Західний кукурудзяний жук.// Карантин і захист рослин,- 2004.-С.16-19.
229. Константинов Ю.М. Гидравлика.- Киев: Вища школа.- 1988.- 398 с.
230. Корзухин М.Д. Выбор переменных в задаче о динамике фитоценоза./ В кн.: Моделирование биоценологических процессов.-М.Наука.- 1981.- С.94-103.
231. Корзухин М.Д., Цельникер Ю.Л., Семенов С.М. Экофизиологическая модель первичной продуктивности древесных растений и оценки климатических пределов из произрастания.//Метеорология и гидрология,-2008.-№12.-С.56-69.
232. Кормопроизводство с основами земледелия./Под редакцией Н.Г.Андреева, - 1985- 406 с
233. Корнилов Ю.А. Защитные полосы и микроклимат в саду. // Садоводство.- 1980.- №11.- С.12.
234. Косолап М.П. Гербологія.-К.:Арістей.-2004.-364 с.
235. Котлярова Е.Г., Лаптиеv А.Б. Особенности распределения энтомофауны по структурным элементам агроландшафта.// Вестник РАСХН.- 2009.- №1.-С.40-41.
236. Кочкарев В.Р., Кочкарев П.В. Эколого-химический мониторинг питательности лугопастбищной растительности.-Орел.-2001.- 128 с.
237. Крестовский О.И., Капотова Н.И. Расчет запасов воды в речных бассейнах // Труды ГГИ,- 1968.- Вып.152.- С.18-65
238. Крюкова Е.А., Персидская Л.Т. Формирование энтомофауны и патогенной микрофлоры в лесоаграрном ландшафте: пути повышения устойчивости агрофитоценозов.// Вестн. с-х науки, - 1986.-№4.-С.61-66.
239. Крючков А.Г., Бесалиев И.Н. Параметры температурного режима и увлажнения межфазных периодов вегетации ячменя. // Вестник Рос.академии с-х наук.- 2008.-№5.- С.51-52.
240. Кудяров В.Н. и др. Экологические проблемы применения удобрений. - М.:Наука.- 1984.- 213 с.
241. Кудрявцев В.А. Формирование лесной подстилки в еловых культурах кисличниковых растительных условий. // Лесное хозяйство,- 2009.-№2.-С.16-17.
242. Кузмичев В.В. Прогнозные уравнения диаметров и их среднеквадратических отклонений сосновых древостоев Красноярской лесостепи.// Научный журнал КубГАУ,- №41 (7).- 2008.- С.1-9. (<http://ej.kubagro.ru/2008/07/pdf/4pdf>)
243. Кузнецов В.И., Федорова Т.Г Сравнительная оценка методов расчета испарения с водоемов // Труды ГГИ. -1968.- Вып. 152.- С.94-113.
244. Кузнецова И.В. Об оптимальной плотности почв.// Почвоведение,-1990.- № 5.-С.43-54.
245. Кузнецова И.В., Уткаева В.Ф., Бондарев А.Г. Оценка изменения физических свойств пахотных дерново-подзолистых суглинистых почв нечерноземной зоны России в зависимости от характера антропогенного воздействия.//Почвоведение.-2009.-№2.-С.152-162.
246. Кузнецов Н.Г. Введение в курс математических моделей.- ВСХИ: Волгоград,- 1992.- 73с.

247. Кулаков В.А., Козьминых Н.В., Балаева О.М. и др. Агрометеорологические условия и изменчивость урожайности пастбищных фитоценозов длительного пользования. // Вестник сельскохозяйственной науки.- 1990.-№1.- С.135-139.
248. Кулик В.Д. и др. Влияние разных сроков осеннего внесения и заправки минеральных удобрений на продуктивность сахарной свеклы./В кн.: Значение новых форм минеральных удобрений в увеличении производства сахарной свеклы.-К.-1971.-С.89-104.
249. Кулик М.С. и др. Потери азота со стоковыми водами.// Метеорология и гидрология.- 1974.- №11.- С.100-101.
250. Куприянова Т.П. Обзор представлений об устойчивости физико-географических систем.//В сб.:Устойчивость геосистем.-М.Наука,-1983.-С.7-13.
251. Кургак В.Г., Лук'янець О.П. Продуктивність різнотипних лучних травостоїв на орних землях лісостепу залежно від систем удобрення і режимів використання.// Корми і кормовиробництво.- 2004.- Вип.54.-С.29-35.
252. Лазер П.Н., Міхеев Є.К. Інструментарій і технології організації інформації в землеробстві.-Херсон.-2006.-368 с.
253. Лапа В.В., Босак В.Н., Пироговская Г.В. Влияние органо-минеральной системы удобрения на продуктивность севооборотов и баланс гумуса в дерново-подзолистых почвах.//Агрехимия.-2009.-№2.-С.40-44.
254. Ланько А.І., та інш. До складання ландшафтної карти Української РСР в масштабі 1:2500000./В кн.: Географічні дослідження на Україні.- К.:Наукова думка,- 1969.- С.69-91.
255. Лебедь Е.М., Крамарев С.М., Подгорная Л.Г. Баланс питательных веществ в севооборотах и применение удобрений.// Земледелие ,- 1999.-№6.- С.21.
256. Леонович В. Поведение и его роль в эволюции.-//Журнал общей биологии.-1985.-Т.46.-№6.-С.753-759.
257. Линслей Р.К., Колер М.А., Паулюс Д.Л.Х. Прикладная гидрология.-Л.:Гидрометеиздат,- 1962.-759 с.
258. Лисецкий Ф.Н. Пространственно-временная организация агроландшафтов.-Белгород: Изд.Белгор. гос. Ун-та.- 2000.- 304 с.
259. Лисовец Е.И. Структурные особенности фитоценозов мятлика узколистного (роа angustifolia L.) и мятлика лугового (роа pratensis L.) в условиях степного Приднепровья. // [http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Arbeh/2009\\_2/09leiusp.pdf](http://www.nbuu.gov.ua/e-journals/Arbeh/2009_2/09leiusp.pdf).
260. Лісовий М.В., Комариста А.В., Солов'яненко Н.А. Продуктивність основних типів ґрунтів. // Вісник ХНАУ,- №2.- 2008.- Ґрунтознавство.- С.12-14.
261. Литвин О.П., Федоренко В.П. Бульбочкові довгоносики роду *sitona* germ. Багаторічна динаміка чисельності в агробіоценозах бобових культур. // Карантин і захист рослин,- №8.- 2012.- С.9-11.
262. Лопырев М.И., Постолов В.Д. Противоэрозионная организация территории склонов: Методические рекомендации и указания для противоэрозионного проектирования.- Воронеж:ВСХИ,- 1986.- 48 с.
263. Львович М.И. Вода и жизнь.-М.:Мысль.-1986.-254 с.
264. Львоводство./Одт. Ред. А.Р.Рогаш.-М.Колос,- 1967.- 583 с.
265. Люшин Б.С., Манжура Н.М. Рациональная организация агро-промышленных предприятий.//Садоводство,-1977.-№10.-С.11.
266. Мазуркин П.М. Оценка экологической устойчивости древостоя.// Лесное хозяйство,- 2009.-№4.-С.21-22.
267. Макаренко П.С., Деркач В.С. Роль верхових і низових злакових трав при створенні сіяних травостоїв пасовищного і укісного використання.// Корми і кормовиробництво,- 2004.- Вип.54.-С.61-65.
268. Макарова Л.А., Доронина Г.Н. Агрометеорологическое обоснование оптимизации защиты зерновых культур от вредной черепашки.-Л.Гидрометиздат.-1983.-144 с.
269. Максимов С.А. Погода и сельское хозяйство.-Л.Гидрометиздат.-1963.-203 с.
270. Малишева Л.Л. Геохімія ландшафтів.- К.:Либідь,- 2000.- 472 с.

271. Манаенков А.С., Аверьянов В.О. Повышение лесистости волго-ахтубинской поймы культурами сосны.//Лесное хозяйство,- 2009.-№5.-С.15-17.
272. Мандер Ю.Э., Алеканд К.Ф. О проектировании водоохраных полос по берегам водоемов и водостоков.//Охрана внутренних вод.- Тарту.- 1982.
273. Маркович Ж.Данило. Социальная экология.-М.:Просвещение,-1991.-174 с.
274. Масляков В.Ю. Антропогенный обмен насекомыми между зоогеографическими подобластями. // Известия АН, сер.Географическая.- 1999.- №4.-С.48-56.
275. Масюк Н.Т. Направленный фитомелиоративный синтез на первичных экотопах и его эффективность.// Рекультивация земель в СССР (тез.докл.).-Т.2.-М.:Наука.-1982.-С.81-83.
276. Матухно Ю.Д. Влияние лесных насаждений на предупреждение загрязнения вод речного стока в связи с химизацией сельского хозяйства (на примере Новгород-Северского Полесья). 1982. Автореферат.
277. МГЭИК: Специальный доклад МГЭИК: Сценарии выбросов.-ВМО: Женева.-2000.-27 с.
278. МГЭИК: Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. /Ред. Пачаури Р.К., Райзинтер А. и др.,- МГЭИК.- Женева.-Швейцария.- 2007.- 104 с.
279. Медведев В.В. та інш. Оцінка придатності орних земель України для вирощування цукрового буряку.// Вісник ХДАУ,- серія ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство,- 1999.-№2.- С.84-92.
280. Медведовський О.К., Іваненко П.І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві.- К.:Урожай,-1988.-206 с.
281. Мерзлая Г.Е., Зябкина Г.А., Панкратенкова И.В. Эффективность органических и минеральных удобрений при выращивании озимой ржи. // Агрехимия,- 1997.- №3.- С.59-62.
282. Меркушева М.Г., Убугунов Л.Л., Убугунова В.И. Биопродуктивность, содержание и накопление макроэлементов надземной и подземной фитомассой орошаемого сеяного злакового травостоя в бассейне реки Селенги в зависимости от минеральных удобрений.// Агрехимия,- 1997.- №3.- С.44-52.
283. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення./ За ред. С.М.Рижука, М.В.Лісового, Д.М.Бенцаровського.- К.,-2003.
284. Методические указания по проектированию противэрозионной организации территории при внутрехозяйственном землеустройстве в зонах проявления водной эрозии.- М.:Агропром СССР, ГИЗР,-1989.- 80 с.
285. Методы изучения и расчета водного баланса.-Л.:Гидрометиздат.- 1981.- 397 с.
286. Методы исследования водного баланса территории и картирование его элементов. Основы методического руководства/ Под ред. А.М. Грина.- М.: АН СССР,- 1973.- 220 с.
287. Методы расчета водных балансов. Международное руководство по исследованиям и практике. /Под ред. А.А.Соколова и Т.Г.Чапмена.-Л.:Гидрометеиздат.- 1976.- 120 с.
288. Мильков Ф.Н. Ландшафтная география и вопросы практики.- М.:Мысль.- 1966.- 256 с.
289. Мильков Ф.Н.Основные проблемы физической географии.-М.Высшая школа.-1967.- 251с.
290. Мильков Ф.Н. и др. Терминологический словарь по физической географии.-М.:Высшая школа, 1993, 288с.
291. Минин А.А., Рубинина А.Е. Связь годичной продукции растительности с испарением и испаряемостью./ В сб.:Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем.- Т.ХІІІ.- 1991.- С.275-279.
292. Миркин Б.М., Хазиахметов Р.М., Соломещ А.И. Оптимизация структуры агроэкосистем: содержание, проблемы и подходы в реализации.// Журнал общей биологии.- 1992.- Т.53.-№1.-С.18-29.
293. Миронова М.К., Ижевский С.С. Пути инвазий чужеземных насекомых-фитофагов (на примере карантинных видов) // Экологическая безопасность и инвазии чужеродных организмов. Сборник материалов Круглого стола Всероссийской конференции по экологической безопасности России (4-5 июня 2002 г.). М.: ИПЭЭ им. А.Н. Северцева, IUCN (МСОП),- 2002.- С. 62-65.

294. Митрофанав В.И., Захаренко Г.С., Иванов В.Ф. Экологическое обоснование прогнозируемой (интегрированной) защиты многолетних насаждений от вредителей как противорезистентной компоненты концепции агроландшафтного земледелия.// Вісник аграрної науки.-1994.-№12.-С.78-86.
295. Михеева Г.А., Сомова Л.А. Влияние биологических препаратов на рост и развитие растений лука и биологическую активность почвы.// Агрехимия,-2009.- №2.-С.60-65.
296. Мищенко З.А., Кирнасовская Н.В. Оценка и районирование биоклиматического потенциала Украины с учетом микроклимата.// Вісник Одеського державного екологічного університету.- 2005.-Вип.1.- С.63-71.
297. Мищенко З.А. Агроклиматология.-К.:КНТ,-2009.-512 с.
298. Мкртчян Р.С., Акопян А.С., Садоян З.В. О возможности прогнозирования урожая.// Садоводство.-1977.-№7.-С.42.
299. Мовчан О.М., Сикало О.О., Мельник П.О., Сирбу Р.Д. Поширення діабротики в Україні. Як зупинити наступ на кукурудзяні плантації небезпечного шкідника.// Карантин і захист рослин, 2006.-№7.- С.24-25.
300. Моделирование биогеоценотических процессов./Отв.ред. В.В.Галицкий.-М.Наука.-1981.- 184 с.
301. Моргун Ф.Т., Тарарико А.Г.и др. Почвозащитное земледелие.-К.:Урожай,-1988.- 256с.
302. Моргунов В.К. Основы метеорологии, климатологии. Метеорологические приборы и методы наблюдений.-Новосибирск.-2005.-331 с.
303. Мотузова Г.В. и др. Действие растворов 0.1н серной кислоты, Тамма, Мера-Джексона на соединения железа в дерново-аллювиальной почве.// Вестник МГУ.- Сер.17, Почвоведение.- 1991. -№1.- С.67-73.
304. Мусієнко М.М. Екологія рослин.- К.:Либідь.- 2006.- 432 с.
305. Муха В.Д. и др. Основы программирования урожайности сельскохозяйственных культур.-М.МСХА.-1994.-252 с.
306. Назаренко І.І., Смага І.С., Польшина С.М. и др. Землеробство та меліорація.-Чернівці.-2006.-543 с.
307. Назаренко І.І., Бербець М.А., Польшина С.М., та інш. Регресійні моделі властивостей буровато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття.// В.Зб.Агрехімія і ґрунтознавство,-2001.-Вип.61.-С.49-57.
308. Наумов М.М. Период посев-всходы растений и биологическое время. Результаты расчетов.// Український гідрометеорологічний журнал,- 2007.-№2.- С.149-155.
309. Національна доповідь щодо впровадження в Україні конвенції організації об'єднаних націй про боротьбу з опустелюванням.-К.-2007.-45 с.
310. Наумов М.М. индивидуальное развитие растений и процессы биологического времени.// Український гідрометеорологічний журнал,- 2008.-№3.- С.85-97.
311. Науково-практичні рекомендації з питань контролю шкодочинності бур'янів у агроценозах Житомирської області.- Житомир,- 2007.- 124 с.
312. Неговелов С.Ф., Теренько Г.Н., Сергеев Л.М. Сколько жить саду. //Садоводство,-1980.-№11.- С.10.
313. Нестеренкова В.Г. и др. Влияние органического вещества на сорбцию фосфат-ионов почвами.// Почвоведение.- 1986.- №11.- С.121-128.
314. Никитишен В.И. и др. Миграция нитратов при промерзании почвы и доступность их растениям // Агрехимия.- 1998.- №2.- С.5-12.
315. Никитчин Д. Для залужения склонов.//Земледелие.-1971.-№9.-С.61-62.
316. Николаев В.А. Концепция агроландшафта.// Вестник московского университета, Сер.5. География.- 1987.- №2.- С.22-27.
317. Николаев Е.В., Изотов А.М., Лыков С.В. Ячмень в Крыму.-Симферополь.: 2007.-182 с.
318. Новикова Н.М., Кузьмина Ж.В., Подольский С.А., Балюк Т.В. Экологическое обоснование подходов к нормированию регулирования режима речного стока.// Поволжский экологический журнал,- 2005.- №3.- С.227-240.



319. Нормативи ґрунтозахисних контурно-меліоративних систем землеробства./ За ред. О.Г.Тарарико, М.Г.Лобаса.- Київ.-1998.-158 с.
320. Носатовский А.И. Пшеница (биология).- М.:Колос.- 1965.- 568 с.
321. Носко Б.С., Христенко А.А. Эволюция показателей почвенного плодородия и их оптимальные параметры в условиях интенсификации земледелия на Украине./ В сб.:Параметры плодородия основных типов почв.-М.:Агропромиздат.-1988.- С.237-252.
322. Образцов А.С. Системный метод: применение в земледелии-М:Агропромиздат-1990.- 303 с.
323. Ожерельев В.Н., Ожерельева М.В. Как выбрать специализацию фермерского хозяйства. Агроклиматические и экономические аспекты выбора в нечерноземной зоне России.- М.:Колос, - 2006.- 96 с.
324. Омелюта В.П., Філатова Н.К., Адамчук О.С., Бабідорич М.М. Західний кукурудзяний жук. Тактика запобігання поширенню та шкодочинності.// Карантин і захист рослин,- 2004.- №11.-23-24.
325. Омелюта В.П., Филатова Н.К. Опасная тенденция расширения ареала западного кукурузного жука на Украине созрывает. // Защита и карантин растений,- 2008.-№11.- С.30-31.
326. Опасность, идущая с запада// <http://zerno-ua.com/?p=2747>
327. Определение оптимальных доз удобрений.// <http://td-agrohim.com.ua/article/30.html?task=view>
328. Оптимальные параметры плодородия почв./ Под ред.. Т.Н.Кулановской.- М.:Колос, 1984.- 271 с.
329. Оптимизация параметров и режимов компонентов водохозяйственного комплекса. М., - 1973.- Вып.17.
330. Осипов А.И., Соколов О.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие. Кн.4.:Роль азота в плодородии почв и питании растений.-СПб.-2001.-360 с.
331. Основы экономики и организации земледелия. / Под ред. А.Н.Каштанова.- М.:Агропромиздат.-1988.-267 с.
332. Паламаренко В.О., Боцко Л.Б. Служба звіту ЄОКЗР повідомляє.// Карантин і захист рослин.- 2006.-№7.-С.1-3.
333. Параметры плодородия основных типов почв. /Под ред. А.Н.Каштанова.- М.:Агропромиздат.-1988.- 262 с.
334. Паулюкявичус Г.Б. Роль леса в экологической стабилизации ландшафтов.- М.:Наука.- 1989.-215 с.
335. Пацукевич З.В. и др. Допустимый смыв и самовосстановление почв.//Почвоведение,- 1997.- №5,- С.634-641.
336. Педь Д.А. О возможности прогноза засухи и избыточного увлажнения.// Труды ГМЦ СССР.-1975.-Вып.156.-С.64-76.
337. Перегудов В.Н., Баборина И.С. Точность полевых опытов с удобрениями географической сети ВИУА.//Агрехимия,-1968.-№1.-С.106-116.
338. Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии.-М.:Колос.- 1968.- 496 с.
339. Петров В.И., Воронина В.П. Деградация растительного Покрова пастбищ северо-западного Прикаспия.// Доклады РАСХН,- 2008-№4.-С.24-26.
340. Підпалій І.Ф., Амонс С.Е. Вплив норм висіву поркрявних однорічних культур на формування асиміляційної поверхні та величину фотосинтетичного потенціалу травостоїв конюшини лучної при зрошенні.// Корми і кормовиробництво,- 2004.-Вип.54.-С.95-100.
341. Пилипенко О.І., Юхновський В.Ю., Ведмідь М.М. Системи захисту ґрунтів від ерозії.- К.-2004.-435 с.
342. Писаренко В.М., Калініченко А.В., Шмиголь Ю.В. Основні підходи до оптимізації структури агроєкосистем.//Агроєкологічний журнал.-2005.-№4.-С.3-6.
343. Пластун І.М. Оцінка впливу шкідливих комах на насінневу продуктивність люцерни. // Вісник сільськогосподарської науки.- 1980.- №12.- С.13-17.

344. Погорілий Л.В., Таргоня В.С. Шляхи стабілізації та відтворення потенціалу агроєкосистем.// Вісті академії інженерних наук України.-2003.-№2(19).- С.15-20.
345. Подходы к конструированию агроэкоосистем – интегрирование методов и средств защиты растений с целью управления фитосанитарным состоянием сельскохозяйственных культур.- СПб.-2000.- 92 с.
346. Подгорный В.К. Гидрологическая, почвозащитная и агрономическая эффективность валов-террас на пашне//Вестник с-х науки,-1985-№9.- С.41-46.
347. Полевой А.Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур.-Л.: Гидрометиздат,-1983.-176 с.
348. Польовий А.М. Моделювання продуктивності агроєкосистем. // Вісник Одеського державного екологічного університету.- 2005.-Вип.1.- С.79-85.
349. Польовий А.М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем.-К.-2007.-348 с.
350. Польовий А.М., Кульбіда М.І., Адаменко Т.І., Трофімова І.В. Моделювання впливу зміни клімату на агрокліматичні умови вирощування та фотосинтетичну продуктивність озимої пшениці в Україні.// Український гідрометеорологічний журнал,-2007.-№2.-С.76-91.
351. Польовий А.М. Динамічна модель проростання насіння та формування сходів зернових культур.// Український гідрометеорологічний журнал,-2008.-№3.-С.75-84.
352. Польовий А.М. Моделювання процесу фотосинтезу зеленого листка. // Вісник Одеського державного екологічного університету,-2009.-Вип.8.-С.61-69.
353. Полупан М.І., Соловей В.Б., Кисіль В.І., та ін. Визначник еколого-генетичного статусу та родючості ґрунтів України.- К.:Колообіг,-2005.-304 с.
354. Полуэктов Е.В.,Грызлов Е.В. Критерий оценки эффективности почвозащитных приемов.//Земледелие,- 1979.- №11.- С.30-31
355. Полуэктов Р.А.,Курбатова Т.В.,Конкель К.-Й. Сравнительный анализ двух методов расчета потенциальной эвапотранспирации.// Метеорология и гидрология,- 1997.- №8.- С.105-112.
356. Полуэктов Р.А.,Опарина И.В.,Терлеев В.В. Три способа расчета динамики почвенной влаги // Метеорология и гидрология,- 2003.- №11.- С.90-98.
357. Попитченко Л.М. Особливості зміни агрокліматичних умов вирощування озимої пшениці в Луганській області.//Наук.праці Укр.НДГМ,-2005.-Вип.254.-С.51-54.
358. Попов В.П. и др. Основные вопросы физико-географического районирования Украинской ССР./ Труды научного совещания по природно-географическому районированию Украинской ССР.- К.:КГУ,- 1961.- С.14-25.
359. Попович П.Д., Скорина С.А., Зимний К.И. Агрочувенне районування і садівництво. // Садоводство.-1979.-№3.-С.9-10.
360. Попович П.Д., Мироненко І.Г. Особенности проектирования садов на склонах.//Садоводство.-1980.-№10.-С.15-17.
361. Попович П.Д., Разумный И.А., Игнатков Д.Я. Оценка земель под многолетние насаждения.// Садоводство.-1981.-№9.-С.12-13.
362. Пospelов Д.А. Когнитивная графика – стимулятор творчества// Человек и компьютер.- 1991.-№15.-С.1-2.
363. Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. и др. Растениеводство.-М.:КолосС.-2006.-612 с.
364. Потипака В.Т. Методические указания. Агроклиматическое районирование многолетних злаковых трав с использованием физико-статистических моделей.-Л.-1991.-39с.
365. Практикум по экономико-математическим методам и моделированию в землеустройстве/ Под ред. Волкова С.Н., Твердовской Л.С. -М.:ВО Агропромиздат.-1991.-256 с.
366. Придатко В.І. Біорізноманіття і біоресурси України: огляд SoE – публікацій (1992-1998 рр.), переоцінка трендів і тенденцій (1966-1999 рр.). // Зб.праць: Довкілля і ресурси: наукові проблеми.-2000.-С.194-215.

367. Придатко В. Узагальнений індекс биорізноманіття (індекс Квашук)// Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади.-К.-2005.- книга.1.- С.202-222.
368. Природа моделей и модели природы./Под ред.Д.М.Геишиани и др.-М.:Мысль.-1986.- 270 с.
369. Приходько М.М. та ін. Меліоративна роль і параметри захистних лісових насаджень в агроландшафтах регіону Українських Карпат і прилеглих територій// Вісник агр. науки,- 1994.- №4.- С.104-110.
370. Прох Л.З. Словарь ветров.-Л.Гидрометиздат,- 1983.-312 с.
371. Проект UNEP-GEF індикатори біорізноманіття для національних потреб (BINU)// Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади.-К.-2005.- книга.1.- С.379-383.
372. Проектирование и создание систем противозерозионных мероприятий на водосборах (рекомендации).-М.:ВО Агропромиздат,1990,32с.
373. Просунко В.М. Забезпечення вологою критичних періодів вегетації сільськогосподарських культур// В.зб.:Системні дослідження та моделювання в землеробстві.- К.:Нива.-1998.-С.102-108.
374. Пружин М.К., Волобуев А.П., Кривчиков А.Е. Определение границ факторного пространства в полевом опыте. // Вестник сельскохозяйственной науки.-1990.-№4.-С.47-51.
375. Пуховский А.В. Экспрессный метод определения степени подвижности почвенных фосфатов.// Агрохимический вестник.- 2000.- №6.- С.32-34.
376. Рак Л.І., Дутка Г.П. Концентрація енергії в сухій речовині пасовищної трави в залежності від складу фітоценозу і норм внесення добрив.// Корми і кормовиробництво.- 2004.-Вип.54.-С.68-74.
377. Ракоїд О.О. Оптимізація співвідношення угідь як необхідна умова сталого розвитку агроєкосистеми.// Агроєкологічний журнал.-2005.-№2.-С.44-47.
378. Раткович Д.Я. Гидрологические основы водообеспечения.-М.:ИВП РАН.-1993.-428 с.
379. Рациональное использование земель и удобрений (рекомендации). // Под общей ред. Т.Н.Кулановской и В.И.Шемпеля. – Минск.: Ураджай.- 1973.- 184 с.
380. Раціональні сівозміни в сучасному землеробстві/І.Д.Приймак та інш.-Біла Церква.- 2003.-384 с.
381. Рейзин Б.Л. и др. Исследование влияния карбонатной пленки на коррозию стали в воде в присутствии ионов сульфата.// Гидротехническое строительство.- 1976.- № 6.- С.44-45.
382. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник.- М.Мысль,- 1990.- 637 с.
383. Рекомендации по расчету испарения с поверхности суши-Л.Гидрометеиздат.-1976-96с.
384. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Вып.4. Крым. / Под ред. Айзенберга М.М. и Каганера М.С. – Л.:Гидрометиздат.- 1966.- 344 с.
385. Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности.-М.-Л.:Наука.-1965.-135 с.
386. Рождественский А.В., Лобанов В.А. Применение палеоинформации для оценки эффективности расчетных гидрологических характеристик. // Метеорология и гидрология,- 2003.- №11.- С.82-89.
387. Розанов В.В., Белобров В.П., Замотаев И.В. Почвенно-экологическая оценка природных и антропогенных ландшафтов.// Агрохимический вестник.- 2008.- №5.- С.16-18.
388. Романенко В.А. Расчет осеннего увлажнения почвы по территориально общим зависимостям // Труды Укр.НИИГМИ. 1961.- Вып.30.- С.3-18
389. Романова Э.П., Алексеев Б.А. Реализация концепции устойчивого развития в агроландшафтах Западной Европы// Вестн.Моск. ун-та, сер.5, география, -2005.-№3.-С.63-68.
390. Рыбалов Л.Н. Берегите энтомофагов на смородине.// Садоводство.-1977.-№4.-С.25.

391. Савич В.И. Варьирование свойств почв во времени и в пространстве.// Доклады ТСХА.- 1971.- Вып.162.- С.111-115.
392. Сайко В.Ф., Яшовський І.В., Малиєнко А.М. и др. Научные основы устойчивого ведения зернового хозяйства. // Под ред. В.Ф.Сайко.-К.:Урожай.-1989.- 312 с.
393. Салова В.Я., Салов Е.Н. Севооборот для ягодников.// Садоводство.-1979.-№2.-С.22-23.
394. Сви́дерская С.М. Влияние агрометеорологических условий на развитие фитофторы и ее поражающее воздействие на урожайность картофеля.// Український гідрометеорологічний журнал,-2007.-№2.-С.142-148.
395. Сви́дерская С.М. Моделирование влияния агрометеорологических условий на формирование продуктивности картофеля и развитие популяции колорадского жука в Полесье.//Вісник Одеського державного екологічного університету.-2009.-Вип.7.-С.110-119.
396. Сви́дерская С.М. Моделирование процесса формирования агроэкологического уровня потенциальной урожайности озимой пшеницы в Одесской области.// Вісник Одеського державного екологічного університету.-2009.-Вип.8.-С.126-132.
397. Свисюк И.В. Агроклиматическое обоснование агротехники возделывания озимых зерновых культур. // Метеорология и гидрология.- 1986.- №2.- С. 91-97.
398. Севідов О.Ф. Роль бобово-злакових травосумішок у формуванні високопродуктивних травостоїв степової зони України.// Корми і кормовиробництво.- 2004.-Вип.54.-С.86-89.
399. Селиверстов Ю.П. Антропогенизация природной среды и задачи прикладной географии./В кн.:География и практика.-Л.Наука.-1988.- С.121-136.
400. Семенов Н.И. Интенсивные сады на склонах Западного Кавказа.//Садоводство.-1981.- №7.-С.11-12.
401. Сенков С.Н. Лесоведение и лесоводство.-М.-2005.- с.
402. Селочник Н.Н. Факторы деградации лесных экосистем.//Лесоведение.-2008.-№5.-С.52-60.
403. Серединський С.М., Брошак І.С. Критерії відбору сидеральних культур для західного лісостепу.// Агроекологічний журнал,- 2007.-№4.-С.52-56.
404. Сечняк Л.К., Киндрук Н.А., Слюсаренко О.К. О выщелачивании семенами питательных веществ.// Селекция и семеноводство.- 1980.-№1-с.38-41.
405. Сівозміни у землеробстві України/За ред.В.Ф.Сайка, П.І.Бойка.-К.Аграрна наука.-2002.- 146 с.
406. Сидоров А.А. О свойствах и эффективности углеаммиака – нового концентрированного азотного удобрения./В кн.: Значение новых форм минеральных удобрений в увеличении производства сахарной свеклы.-Киев.-1971.-С.17-56.
407. Сиротенко О.В. Система аерокосмічного сільськогосподарського моніторингу.// В Зб.Системні дослідження та моделювання в землеробстві.-К.-1998.-С.286-293.
408. Сиротенко О.Д., Груза Г.В., Ранькова Э.Я. и др. Современные климатические изменения теплообеспеченности, увлажнения и продуктивности агросферы России.//Метеорология и гидрология,- 2007.- С.90-103.
409. Скляр Ю.А., Бричков Ю.И., Семенова Н.В. Радиационный баланс Земли. Введение в проблему.- Саратов: Изд. Саратов. Ун-та,- 2009.-188 с.
410. Скорупский Б.В. Агрокліматичне обґрунтування і метод оптимізації розміщення польових культур в Україні./ Автореферат дис. На здоб Ньюсю к.геогр.н.-К.-2001.- 19 с.
411. Смаглій О.Ф., Малиновський А.С., Кардашов А.Т. и др.. Енергетична оцінка агроекосистем.- Житомир: 2004.- 132 с.
412. Смирных В.М., Когут Г.С. Севооборот и почвенная энтомофауна свекловичного агроценоза.//Защита и карантин растений.//2003.-№4.-С.25-26.
413. Снакин В.В. и др.. Оценка состояния и устойчивости экосистем.-М.:ВНИИ природа.-1992.-127 с.
414. Сніжко С.І., Скрипник О.А., Щербань І.М. Особливості тривалості вегетаційного періоду і періоду активної вегетації на території України (тенденції зміни внаслідок глобального потепління).//Український гідрометеорологічний журнал,-2007.-№2.-С.119-128.

415. Соколова С.С. Фотосинтетический потенциал и чистая продуктивность фотосинтеза в посевах зернобобовых культур (кормовые бобы, люпин узколистный и соя). //Материалы международного симпозиума «Физиолого-биохимические основы продукционного процесса.-Саратов.-2010.-С.79-81.
416. Соколовский Д.Л. О формуле максимального стока талых вод в зависимости от энергии солнечной радиации и температуры воздуха//Метеорология и гидрология,- 1939.- №3.- С.68-72.
417. Соловьев И.Н., Чеботарев Ю.А. Оценка эффективности использования продуктивных запасов почвенной влаги. // Метеорология и гидрология.-1986.-№3.- С.94-100.
418. Соловьев С.В. Об оценке лесовозобновительного потенциала не покрытых лесом земель.// Лесное хозяйство,- 2009.-№6.- С.18-19.
419. Соломаха В.А., Малієнко А.М., Моччан Я.І. та інш. Збереження біорізноманіття у зв'язку із сільськогосподарською діяльністю (метод.реком)..-К.-2005.-123 с.
420. Солнцева О.В., Болтунова Е.М. Повышение устойчивости кормопроизводства. // Кормопроизводство.- 2002.-№9.-С.2-4.
421. Сони́на К.И. и др. Влияние азотных удобрений на потери кальция из произвесткованной почвы.// Химия в сельском хозяйстве.- 1977.- №2.- С.55-59.
422. Сорокина Н.П., Козлов Д.Н. Отражение специального содержания на прикладних почвенных картах при использовании цифровых методов.// Материалы Всероссийской научной конференции «Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А.Глазовской).-М., 2012.- С.300-302.
423. Сорушиан С., Лофорд Р., Трай П. и др. Водный и энергетический циклы: исследование связей.// Бюллетень ВМО.- Т.54 (2).-2005.-С.58-64.
424. Справочник по водным ресурсам.-К.:Урожай. 1987.-304с.
425. Стифеев А.И., Медведев А.Е., Сокольников Ю.В. Возделывание многолетних трав на отвалах вскрышных пород и хвостохранилищ КМА в целях укрепления кормовой базы животноводства.// Рекультивация земель в СССР.-Т.2.-М.-1982.-С.89-91.
426. Степановских А.С. Прикладная экология: охрана окружающей среды.- М.:ЮНИТИ-ДАНА.-2003.-751 с.
427. Стойко С.М. Екологічні засади формування в Україні лісів, наближених за ценотичною і віковою структурою до природних фітоценозів./ У Зб праць «Лісове господарство, лісова паперова і дерево переробна промисловість.- Львів.-2006.-Вип.30.-С.160-167.
428. Сухбат О., Деловеров А.Т., Суворова Г.Г. Градиенты CO<sub>2</sub> в лесном пологe в связи с различными условиями увлажнения. // Материалы конференции «Экология в современном мире: взгляд научной молодежи.- Улан-Уде,- 2007.- С.219-220.
429. Сявавко М., Пасічник Т., Цюпко І. Адаптація методів нечіткого математичного програмування для ефективного використання кормів./В зб.: Науково практичні аспекти кормовиробництва та ефективного використання кормів.-Львів.-2003.-С.8-13.
430. Тарарико А.Г. Агро-экологические основы почвозащитного земледелия.- Киев: Урожай.-1990.-184 с.
431. Тарарико Ю.О. Агрометеорологічні ресурси України та технології їх раціонального використання// Вісник аграрної науки.- 2006.-№2.- С.29-31.
432. Тарасов В.В. Флора Дніпропетровської та Запорізької областей: Судинні рослини. Біолого-екологічна характеристика видів.- Дніпропетровськ: Вид-во ДНУ,- 2005.- 276 с.
433. Терехов В.И., Денисова Д.В. Прогнозирование эпифититий: классификация и частные решения.// Защита и карантин растений,-2001.-№1.-С.42-44.
434. Терещенко К.П., Білоус І.М., Козловський Б.І. Прогнозування середньої урожайності сільськогосподарських культур за водно-температурними показниками в умовах осушувальної меліорації Прикарпаття.//Вісник сільськогосподарської науки.-1986.-№4.-С.36-39.
435. Тимофеев В.П. Лесовыращивание сосны и липы в лесной опытной даче ТСХА. // Доклады ТСХА,- Вып.263.- 1980.- С.135-146.

436. Тимофеев М.М. Модели дендрокормовых угодий биогенного земледелия.//Аграрная наука.-2005.-№4.-С.27-28.
437. Титлянова А.А. О режимах биологического круговорота в наземных биогеоценозах.//Почвоведение.-1989.-№6.-С.71-80.
438. Титлянова А.А., Афанасьев Н.А., Наумова Н.Б. и др. Сукцессии и биологический круговорот.-Новосибирск:Наука.-1993.-157 с.
439. Тищенко В.В., С.И.Годунов Приемы оптимизации водного режима полей в лесоаграрных ландшафтах. // Лесное хозяйство,- 2008.- №3.- С.35-36.
440. Торнли Дж.Г.М. Математические модели в физиологии растений.-К.:Наукова думка, 1982.- 312с.
441. Траценко В.І. Соняшник: селекція, насінництво, технологія вирощування.-Суми.-2001 р.- 184 с.
442. Трофимов С.Я., Седов С.Н. Функционирование почв в биогеоценозах: подходы к описанию и анализу. // Почвоведение.-1997.- №6.- С.770-778.
443. Троян П. Экологическая биоклиматология.-М.:Высшая школа.-1988.-
444. Трусевич Г.В., Адамович З.И. Эффективность загущенных посадок.//Садоводство.-1970.-№10.-С.11-12.
445. Турбас Э.М. и др. Состав лизиметрических вод и вымывание питательных веществ из пахотного слоя почвы в зависимости от применения удобрений.// Химия в сельском хозяйстве.- 1973.- №5.- С.22-27.
446. Тхагушев Н.А., Иванова Г.В.Орошение фундука.// Садоводство.-1980.-№5.-С.27.
447. Тюльдюков В.А. Специфика формирования на начальном этапе рукотворных луговых ландшафтов.// Экологические основы повышения продуктивности и устойчивости агроландшафтных систем.-Орел.-2001.- 473 с.
448. Тюрин И.В. Органическое вещество почвы и его роль в плодородии.-М.:Наука,-1965.
449. Узбек Н.Х. Изучение кормовых систем и численности микроорганизмов на рекультивируемых землях.// Рекультивация земель в СССР.-Т.2.-М.-1982.-С.94-97.
450. Устойчивость земледелия: проблемы и пути решения./Под ред. В.Ф.Сайко.-К.:Урожай,-1993.-320 с.
451. Ушаков Р.Н. Оценка устойчивости производственного процесса зерновых.// Зерновое хозяйство.-2003.-№8.-С.3-5.
452. Фацевский Б.В. Основы экологической гидрологии.-М.:Экоинвест.-1998.-239 с.
453. Федосеев А.П. Инерционный прогноз почвенных влагозапасов и его экономическая эффективность // Метеорология и гидрология, 1971.- №6.- с.111-120.
454. Физико-географический атлас мира.- М.АН ССР и ГУГ и ГГК СССР,- 1964.- с.75-76, 248-249, 293-298.
455. Филинова Н.П., Варнавская Н.В. Под защитой полос разной конструкции.//Садоводство.-1980.-№2.-С.23-24.
456. Филипов А.Л. и др. Лизиметрический метод оценки применения минеральных удобрений.// Агрехимический вестник.- 2001.- №4.- С.27-28.
457. Філон В.І. Вплив калійних добрив на структурний і гумусний стан чорноземів типових глибоких.// Вісник аграрної науки.- 2001.- №8.- С.20-22.
458. Фокин А.Д. Эколого-биогеохимические подходы к оптимизации агроэкосистем.// Почвоведение.- 1988.- №9.- С. 71-75.
459. Фокин А.Д. О роли органического вещества почв в функционировании природных и сельскохозяйственных экосистем.// Почвоведение,- 1994.-№4.-С.40-45.
460. Фокін А.В. Оптимальна модель. Вплив резистентності на ефективність стратегій захисту рослин від шкідників.// Карантин і захист рослин.-2008.-№2.-С.14-15.
461. Фоли Джонатан Как прокормить всю планету? // В мире науки.- №1.- 2012.- С.49-55.
462. Фоменко Л.Д, Довідник з землеробства.- Львів:Каменярь,- 1987.-231 с.
463. Фортескью Джордж. Геохимия окружающей среды. М., -1974.

464. Фрид А.С., Гребенников А.М. Устойчивость почв России к деградации по плодородию при кислотных и щелочных воздействиях.// *Агрохимия*.-1999.-№2.-С.5-11.
465. Хабаров С.Н., Субботин Г.Н. Повышение продуктивности вишни степной.// *Садоводство*.-1980.-№2.-С.24-25.
466. Харченко О.В. Основи програмування врожаїв сільськогосподарських культур. – Суми.-2003.- 296 с.
467. Харченко О.В. Ресурсне забезпечення та шляхи оптимізації умов вирощування сільськогосподарських культур Лісостепу України.-Суми.-2005.-342 с.
468. Хасанова Р.Ф., Суюндукова М.Б., Ахметов Ф.Р., Сальманова Э.Ф. Фитомелиоративная эффективность многолетних трав на черноземе обыкновенном.// *Аграрная наука*,-2008.-№2.- С.33-36.
469. Хими́на Е.Г. Определение главных древесных пород для зональных светло-каштановых почв юга Ергеней на основе оптимального программирования.//*Доклады ТСХА*, - Вып.238.- 1978.- С.101-105.
470. Холупяк К.Л. Эродированные земли в Украинской ССР и пути повышения их плодородия/ В сб.: Пути повышения плодородия почв.-К.Урожай,- 1969.- с.281-290.
471. Хохленко Т., Польовий А. Функціональні особливості ґрунту в агроландшафті.// В зб.:Гене́за.Географія та екологія ґрунтів.- Львів.- 2003.- С. 428-431.
472. Хохлов В.М., Латиш Л.Г., Цимбалюк К.С. Возможі зміни температурного режиму в Україні у 2011-2025 роках.// *Вісник Одеського державного екологічного університету*, 2009.- Вип.8.-С.70-78.
473. Цвей Я.П., Бойчук О.В. Обробіток ґрунту і забур'яненість посівів пшениці озимої. // *Карантин і захист рослин*.- 2012.- №8.- С.4-6.
474. Цветков В.Ф. Лесной биогеоценоз.-Архангельск.-2004.
475. Чамурлиев О.Г., Ломтев А.В., Козенко О.П. Формирование энтомокомплексов в орошаемых севооборотах.//*Земледелие*.-1999.-№6.-С.20.
476. Чеботарев А.И. Гидрологический словарь.- Л.Гидрометиздат.-1978.- 308 с.
477. Чеботарева Т.Микрорельєф и перезимовка вишни.// *Садоводство*.-1970.-№110.-С.20.
478. Чевердин Ю.И. Влияние комплекса естественных и антропогенных факторов на плодородие черноземов.// *Вестник РАСХН*.- 2009.-№3.-С.37-38.
479. Чеканышкин А.С., Тищенко В.В. Клен остролистный в защитном лесоразведении на юго-востоке ЦЧЗ. // *Лесное хозяйство*,- 2009.-№2.-С.25-26.
480. Черепнин В.Л. Фитомасса суши Земли и климат.-Красноярск.-1999.-129 с.
481. Чертко Н.К. Геохимия агроландшафтов Белоруссии и их оптимизация. М., 1991. Автореферат.
482. Чечкин С.А. Основы геофизики. -Л.:Гидрометиздат.- 1990.- 288 с.
483. Чорний С.Г. Методика розрахунку щорічного розміщення сільськогосподарських культур.// *Вісн. аграрної науки*.-1993.- №3.- С.91-94.
484. Чулкина В.А. и др. Фитосанитарная оптимизация агроэкосистем плодовых и ягодных культур.- М.:Колос.- 2006.- 240 с.
485. Чумаченко С.и. Использование математических моделей, прогнозирующих влияние интенсивных методов лесовыращивания на строение древесины.// *Лесное хозяйство*,- 2008.- №4.- С.36-38.
486. Шабанов В.В., Бунина Н.П. Элементы проектирования искусственных биогеохимических барьеров на водосборах Нечерноземной зоны России. // [www.msuee.ru/science/1/2005\\_2/2-81.doc](http://www.msuee.ru/science/1/2005_2/2-81.doc)
487. Шашко Д.И. Агроклиматическое районирование СССР.-М.:Колос.-1967.- 335 с.
488. Шахотина Н.Г. Сравнительный анализ продукционного процесса в фитоценозе луговой степи и посевах пшеницы на обыкновенных черноземах Барабы.// *Почвоведение*.- 1979.- №2.- С. 96-106.
489. Швевс Г.И. Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка.- Л.:Гидрометеиздат,- 1974.- 183с.

490. Швиндлерман С.П. Экологическая оптимизация структуры и продуктивности агроэкосистем.-Днепропетровск.-автореферат, -1991.-43 с.
491. Шевченко А.О., Азаренкова А.С. Біологічний потенціал озимої пшениці та моделювання його продукційного процесу. // В.зб.:Системні дослідження та моделювання в землеробстві.- К.:Нива.-1998.-С.126-140.
492. Шевченко А.О., Пластун І.М., Трибель С.О. Щодо концепції вивчення та раціонального використання агрометеорологічних ресурсів України. // В.зб.:Системні дослідження та моделювання в землеробстві.- К.:Нива.-1998.- С.18-27.
493. Шевченко А.О., Просунко В.М. Систематизація погодних умов і продуктивність агроценозів//В.зб.:Системні дослідження та моделювання в землеробстві.-К.:Нива.-1998.-С.86-96.
494. Шеин Е.В., Банников М.В., Трошина О.В. и др. Температурное поле комплексного почвенного покрова на примере почвенного покрова владимирского ополья.// Почвоведение.- 2009.-№2.- С.144-151.
495. Шестопалов М.В. Фауна шкідників лісосмуг і лісових насаджень, що прилягають до сільськогосподарських угідь передгірного Криму.// Таврійський науковий вісник.-Херсон.-2005.-Вип.37.-С.66-72.
496. Шидаков Р.С., Шидакова А.С., Шопаров Х.Р. Изменчивость количественных и качественных признаков яблони в зависимости от возрастной цикличности дерева. // Весник РАСХН.- 2008.-№5.- С.37-40.
497. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток.- Л.Гидрометиздат.- 1989.- 334 с.
498. Шидула М.К. Концепція біологічного землеробства на чорноземних ґрунтах.// Науковий вісник НАУ.- Вип.81.- 2005.- С.262-278.
499. Шитиков В.К., Розенберг Г.С. Оценка биоразнообразия: попытка формального обобщения.// В сб.: Структурный анализ экологических систем. Количественные методы экологии и гидробиологии (Сборник научных трудов, посвященный памяти А.И. Баканова). Отв. ред. чл.-корр. РАН Г.С. Розенберг. – Тольятти: СамНЦ РАН, 2005. – С. 91-129.
500. Шишлов В.И. Организация циклов средообразующих и климатообразующих процессов. II. Трансформация ландшафта и перестройка организации циклов процессов. //Journal of Siberian Federal University,-Biology.- 1 (2009 2) P.103-106.
501. Шишов Л.Л. и др Критерии и модели плодородия почв.-М.Агропромиздат.-1987.- 184с.
502. Шпаков А.С., Трофимов И.А. Агроландшафтно-экологические основы конструирования агроэкосистем и принципы управления ими.//Вестник РАСХН.- 2002.-№4.- С.31-33.
503. Шпедт А.А. Зависимость урожая яровой пшеницы от содержания в почве гумусовых веществ.// Агрохимия,- 1997.- №3.- С.13-16.
504. Шумова Н.А. Оценка точности модели для расчета динамики запасов воды в почве // Метеорология и гидрология. 2003. №10. С.97-106.
505. Шумова Н.А. Закономерности формирования водопотребления и водообеспеченности агроценозов в условиях юга Русской равнины.-М.:Наука.-2010.-239 с.
506. Шутов В.А. Расчет инфильтрации и стока с использованием функции совместного распределения параметров почвогрунтов// Метеорология и гидрология, 1996, №5, с.97-103.
507. Щербак Л.В. Метод оцінювання агрометеорологічних умов формування урожайності цукрового буряку в адміністративних районах України.// Вісник Одеського державного екологічного університету.- 2006.-Вип.2.- С.128-134.
508. Щербак Л.В. Метод агрометеорологічного прогнозу середньої районної врожайності цукрового буряку в Україні.// Наук. Праці УкрНДГМІ.- 2005.- Вип.254.-С.42-50.
509. Щербань М.И., Проценко Г.Д. Агроклиматическое районирование Украинской ССР. (Задачи и перспективы). /В сб.:Географические исследования для развития агропромышленных комплексов.-К.:Наукова думка, 1986, с.30-36.
510. Эйюбов А.Д. Об учете крутизны склона при определении биоклиматического потенциала.// Метеорология и гидрология.- 1979.-№6.-С.99-101.



511. Экологическая оптимизация агроландшафта.- М.Наука.- 1987.- 240 с.
512. Энгельс Ф. Диалектика природы.-М.Политиздат.-1987.- 349 с.
513. Юнусбаев У.Б., Мусина Л.Б., Суюндуков Я.Т. Динамика степной растительности под влиянием выпаса разных сельскохозяйственных животных.//Экология.-2003.-№1.-С.46-50.
514. Юшков В.П. Модель гидрологического цикла для глобальных исследований.// Метеорология и гидрология.- 1993.- 36.- С.28-36.
515. Яблоков А.В. Эволюционное учение.- М.:2006.- 310 с.
516. Яворський С.В. Агроенергетична оцінка низько витратних прийомів прискореного відновлення зрошуваних пасовищ на вироджений травостоях.// Корми і кормовиробництво.-2004.-Вип.54.- С.49-53.
517. Яковлев С.А. О поливном режиме.// Садоводство.-1970.-№7.-С.16-17.
518. Яцик А.В. Экологические основы рационального водопользования.-К.Генеза.-1997.-640с.
519. Яцик А.В. Водогосподарська екологія. -К.:Генеза,-2004.-Т.4.-680 с.
520. Яцухно В.М., Мандер Ю.Э. Формирование агроландшафтов и охрана природной среды.- Минск.- 1995.- 122 с.
521. Arnold J.G et all Large area hydrologic modeling and assesment - part 1: model deveooment // Journal of the american water resources association. 1998. V.34 N1. P.73-89.
522. Baettig M.B., Wild M., Imbodem D.M. A climate change index: Where climate change may be most prominent in the 21<sup>st</sup> century.// Geophys. Res. Lett.-2007.-V.34.-L01705.
523. Booth T/H/ Mapping regions climatically suitable for particular tree species at the global scale. Forest Ecology and management. -1990.-36.- p.47-60.
524. Chlabi Z.A., Milford G.F.J., Pay W. Stochastic model of the leaf area expansion of the sugar beet plant in a field crop./ Agr. And Forest Meteorol., -1986.-V.38.№4.-P.319-336.
525. Climate change 2007: The physical science basis/ S.Solomon et.al. 1(eds.) Contribushion of working group I to the fourth assesment report of the intergovernmental panel on climate change.- Cambrige University press,-2007.-999 p.
526. *Diabrotica virgifera virgifera*// [http://www.eppo.int/QUARANTINE/special\\_topics/Diabrotica\\_virgifera/diabrotica\\_virgifera.htm](http://www.eppo.int/QUARANTINE/special_topics/Diabrotica_virgifera/diabrotica_virgifera.htm)
527. ECNC BIODIVERSITY SERVERS (ЗА ДАНИМИ НА 23.01.2000)
528. Fick G.W.,Williams W.A., Loomis R.S. Compute simulation of dry matter distribution during sugar beet growth.- Crop Sci., - 1973.-V.13.- №4.-P.413-417.
529. Frakes B., Yu Z. An evaluation of two hydrologic models for climate change scenarios // Journal of the american water resources association.- 1999.- N6.- P.1351-1363.
530. Hotchkiss R.H. et all Regulated river modeling for climate change impact assesment: the Missouri river // Journal of the american water resources association.- 2000.- V.36.- N2.- p.375-386
531. Kaczmarek Z. Water balance model for climate impact analysis // Asta geophysica polonica.- 1993.- Vol.XLI. -N4.- C.423-437.
532. National report of Ukraine on conservation of biodiversity.-Kyiv.-1997.-31 p.
533. Patefield W.M., Austin R.B. A model for the simulation of the growth of *Beta vulgaris*.- Ann. Bot., - 1971.-V.35.-№143.-P.1227-1250.
534. Rasmann S., Kollner T.G., Degenhardt J., et al. // Nature, 2005. Vol. 434. P. 732-737.
535. Sefrova H., Lastuvka Z. Dispersial of the horse – chestnut leafminer *Cameraria ohridella* in Europe: its course, Ways and causes// Entomol. Zeit.- Stuttgart.- 2001.-111.-S. 195-198.
536. Special report on emission scenarios. A spesial report of working group III of the intergovernmental panel on climate change/ Nakićenović at al. (eds.).- Cambridge University Press,-2000.-599 p.
537. Thornthwaite C.W., Holzman B. Measurement of evaporation from land and water surfaces. Washington, U.S. Dept. Of Agr. (Tech.Bull. No. 817).
538. Turc L. Le bilan d'eau des sols: relations entre les precipitations, l'évaporation et l'écoulement. (The soil water balance: relations between precipitation, evaporation and runoff). Versailles, Institut national de la recherche agronomique, laboratoire des sols, 1955.

539. Yates D. WatBal - an integrated water balance model for climate impact assessment of river basin runoff// IIASA.- 1994.- July. WP-94-64.- 31c.
540. Yates D., Strzepek K. Potential evapotranspiration methods and their impact on the assessment of river basin runoff under climate change // IIASA.- 1994. July. WP-94-46.- 28c.