

Міністерство освіти і науки України
Житомирський національний агроекологічний університет

**Славов В.П., Біденко В.М., Дідух М.І.,
Трохименко В.З., Лукомський О.М.**

СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКА РАДІОБІОЛОГІЯ З ОСНОВАМИ РАДІОЕКОЛОГІЇ

Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум

Навчальний посібник

Житомир
Вид-во ЖДУ ім. І. Франка
2015

УДК 577.34
ББК 28.081.2
С 36

*Рекомендовано до видання Вченою радою
Житомирського національного агроекологічного університету
(протокол № 11 від 02 липня 2015 р.)*

Рецензенти:

Савченко Ю.І. – д.с.-г.наук, професор, академік НААН України, головний науковий співробітник Інституту сільського господарства Полісся НААН України.

Рязанов С.Ф. – д.с.-г.наук, професор, зав. кафедрою екології та охорони навколишнього середовища Вінницького національного аграрного університету.

Лукашов Д.В. – д.б.н., ННЦ «Інститут біології», м. Київ

Славов В.П., Біденко В.М., Дідух М.І., Трохименко В.З. та інші.

С 36 Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. – Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. – 312 с., іл..

ISBN 978-966-485-202-6

Навчальний посібник підготовлений на основі детального вивчення архівних матеріалів та чисельних наукових праць дослідників проблем радіобіології та радіоекології.

В навчальному посібнику викладено відомості про історичні витоки сучасної радіобіології і радіоекології. Підкреслено, що радіобіологія є теоретичною основою радіоекології.

Особлива увага приділена розкриттю поняття радіоактивності, видів іонізуючого випромінювання та їх дії на живі організми. Детально подається дозиметрія і радіометрія іонізуючих випромінювань та апаратура і прилади дозиметричного контролю та організації роботи спеціальних лабораторій.

**УДК 577.34
ББК 28.081.2**

ISBN 978-966-485-202-6

©Славов В.П., Біденко В.М., Дідух М.І., Трохименко В.З. та інші, 2015

Зміст

Вступ	9	
Перелік скорочень	11	
Частина 1. Історичні аспекти становлення і розвитку сільськогосподарської радіобіології в СРСР	12	
1.1	Радіобіологія – теоретична основа радіоекології	12
1.2	Етапи розвитку радіобіології в СРСР	14
1.3	Становлення і розвиток радіобіології в Україні	22
1.3.1	Академік Д.М.Гродзинський – засновник Української школи радіобіологів рослин	25
1.3.2	Дослідження академіка НААН України І.М.Гудкова з проблем сільськогосподарської радіобіології рослин	31
1.4	Становлення і розвиток сільськогосподарської радіоекології	34
1.4.1	Заснування загальної радіоекології – нового перспективного наукового напрямку	36
1.4.2	Становлення і розвиток сільськогосподарської радіоекології в СРСР	40
1.4.3	Формування наукових шкіл академіка ВАСГНІЛ В.М.Клечковського і професора М.В.Тимофєєва-Ресовського.	42
1.5	Розвиток сільськогосподарської радіоекології в Україні після аварії на Чорнобильській АЕС	58
1.5.1	Оцінка радіаційної ситуації	58
1.5.2	Система управління з мінімізації наслідків аварії	79
Частина 2. Радіоактивність, види іонізуючих випромінювань та їх дозиметрія	92	
2.1.	Будова речовин	92
2.2.	Радіоактивність та одиниці її вимірювання	92
2.3.	Іонізуючі випромінювання та їх взаємодія з речовиною	96
2.4.	Механізми біологічної дії іонізуючих випромінювань	98
2.5.	Вплив іонізуючого випромінювання на віруси та бактерії	102
2.6.	Вплив іонізуючого випромінювання на рослини	103
2.7.	Вплив іонізуючого випромінювання на тварин	104
2.7.1	Хіміко-токсикологічна характеристика ^{137}Cs і ^{90}Sr , ^{131}I та	110

	трансуранових елементів (ТУЕ)	
2.8.	Дози випромінювання та одиниці їх вимірювання	114
2.9.	Реєстрація іонізуючих випромінювань	118
2.10.	Детектори іонізуючих випромінювань	119
2.11.	Дозиметрія та радіометрія іонізуючих випромінювань	123
2.12.	Апаратура для дозиметрії та радіометрії	125
2.13.	Кишенькові прилади для індивідуального дозиметричного контролю	126
2.14.	Переносні прилади групового дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю	160
2.15.	Стаціонарні прилади для дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю	171
Частина 3. Радіаційна безпека при роботі із радіоактивними речовинами та вимоги до облаштування радіобіологічних лабораторій		197
3.1.	Нормування радіаційного впливу на організм людини та допустимі рівні опромінення осіб різних категорій	197
3.2.	Правила роботи з відкритими і закритими джерелами іонізуючого випромінювання	202
3.3.	Збирання, видалення і знешкодження радіоактивних відходів. Дезактивація робочих приміщень і обладнання у лабораторії	207
3.4.	Відбір проб ґрунту, води, рослинницької і тваринницької продукції на радіометричний аналіз	211
Частина 4. Лабораторно-розрахунковий практикум		216
4.1	Лабораторні роботи	216
	<i>Лабораторна робота 1.</i> Переносні та стаціонарні прилади дозиметричного та радіометричного контролю	216
	<i>Лабораторна робота 2.</i> Вивчення будови та принципу роботи кишенькових приладів для індивідуального дозиметричного контролю	220
	<i>Лабораторна робота 3.</i> Визначення ефективної еквівалентної дози опромінення в залежності від величини радіаційного фону	223
	<i>Лабораторна робота 4.</i> Вимірювання γ -фону в приміщеннях та на території за допомогою радіометра СРП-68-01, СРП-88Н	224
	<i>Лабораторна робота 5.</i> Розрахунок паспортної дози населеного пункту (НП)	225

	<i>Лабораторна робота 6.</i> Визначення шару половинного послаблення γ -випромінювання	228
	<i>Лабораторна робота 7.</i> Визначення індивідуальної поглиненої дози гамма-нейтронного випромінювання за допомогою індивідуального дозиметра ИД-1.	228
	<i>Лабораторна робота 8.</i> Визначення шару половинного послаблення β -випромінювання	230
	<i>Лабораторна робота 9.</i> Визначення вмісту ^{137}Cs в організмі людини за допомогою радіометра РУБ-01-П6	232
	<i>Лабораторна робота 10.</i> Визначення забруднення території ^{137}Cs за допомогою радіометра РУБ-01-П6	235
	<i>Лабораторна робота 11.</i> Прогноз променевого враження тварин за даними дозиметричного контролю	236
	<i>Лабораторна робота 12.</i> Визначення коефіцієнту послаблення, посилення фонового опромінення людини приміщенням	239
	<i>Лабораторна робота 13.</i> Визначення питомої та об'ємної радіоактивності β -випромінюючих радіонуклідів	241
	<i>Лабораторна робота 14.</i> Визначення об'ємної активності ^{137}Cs за допомогою радіометра РУГ-91 «Адані»	243
	<i>Лабораторна робота 15.</i> Прижиттєве визначення вмісту ^{137}Cs у м'язовій тканині сільськогосподарських тварин за допомогою гамма-спектрометру СУГ-1М	246
	<i>Лабораторна робота 16.</i> Визначення питомої активності проб харчових продуктів за допомогою радіометра СРП-68-01, СРП-88Н	248
	<i>Лабораторна робота 17.</i> Розрахунковий спосіб визначення радіоактивності проби	250
4.2.	Розрахункові завдання	252
	Завдання 1. Визначення щільності радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь	252
	Завдання 2. Прогнозування радіоактивного забруднення продукції рослинництва	254
	Завдання 3. Прогнозування радіоактивного забруднення продукції лісового господарства	257
	Завдання 4. Прогнозування радіоактивного забруднення продукції тваринництва	260
	Завдання 5. Визначення добового надходження ^{137}Cs і ^{90}Sr в організм людини та дозового навантаження за рахунок вищевказаних радіонуклідів	263
	Завдання 6. Розрахунки дози зовнішнього опромінення населення	265

	Тести для перевірки знань студентів	268
	Додатки	288
1	Галузевий стандарт України СОУ 774.14-37.-425:2006	288
2	Галузевий стандарт України СОУ 74.14-37.-424:2006 (витяг)	296
3	Галузевий стандарт України СОУ 01.1-37-426:2006(витяг)	302
4	Галузевий стандарт СОУ 01.2-37-428:2006(витяг)	313
5	Галузевий стандарт СОУ 01.2-37-427:2006(витяг)	317
6	Методичні вказівки з методів контролю МВК 6.6.1.-10.10.1.7.000-08(витяг)	326
7	Методики концентрування проб для бета-спектрометричного визначення стронцію-90	352
8	Визначення радіаційної безпеки харчових продуктів	355
9	Перелік методик радіологічних досліджень, рекомендованих для використання при визначенні показника відповідності	357
10	Методика розрахунку дози опромінення населення при пероральному надходженні радіонуклідів	358
11	Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді (ДР-2006), Бк/кг, Бк/л.	363
12	Основні фізичні величини та значення, які застосовуються в радіобіології та радіоекології	368
	Список використаної літератури	374

ВСТУП

Радіаційна біологія – наука що вивчає первинні механізми впливу іонізуючого випромінювання на живі організми різної будови і рівня організації.

Основним завданням радіобіології є вивчення закономірностей впливу іонізуючого випромінювання на живий організм з метою пошуку можливостей щодо керування його реакціями на цей фактор. Радіобіологія передбачає вивчення механізмів взаємодії випромінювань з компонентами клітин і тканин, дослідження чутливості живих організмів до дії випромінювань, розробки засобів захисту від радіаційних уражень і шляхів пострадіаційного відновлення, вивчення шляхів міграції радіоактивних речовин по трофічних ланцюгах. Сучасна загальна радіобіологія являє собою комплексну міждисциплінарну галузь біологічної науки з чітко виділеними окремими напрямками, в тому числі і сільськогосподарською радіобіологією.

Радіаційна екологія - складова частина радіобіології і екології, що вивчає концентрацію та міграцію радіоактивних ізотопів у навколишньому середовищі та вплив їх іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання.

Основні завдання радіоекології:

- ретельне вивчення різних джерел надходження радіоактивних ізотопів у навколишнє середовище з метою зменшення їх потоків;
- спостереження за міграцією радіонуклідів трофічними ланцюгами, у тому числі тими, що спрямовані до людини;
- вивчення впливу сукупності факторів середовища існування живих організмів.

У результаті аварії на ЧАЕС появився новий абіотичний фактор забруднення навколишнього природного середовища існування організмів, що впливає на популяції та цілі угруповання, призводить до негативних наслідків у стані їх здоров'я, забруднення продукції тваринництва.

Ці проблеми на сьогодні є домінуючими, вони потребують вирішення їх невідкладно.

Даний навчальний посібник підготовлений з урахуванням сучасних методичних і методологічних підходів до комплексного вивчення основ радіобіології і радіоекології, призначений для студентів вищих навчальних закладів, є суттєвим доповненням для теоретичних курсів радіобіології і радіоекології. У посібнику приведені ілюстрації, технічні дані сучасних дозиметричних та радіометричних приладів, освоєння яких дозволить правильно проводити оцінку забруднення навколишнього середовища, радіаційної ситуації.

Завдання навчального посібника – освоєння студентами основних фізичних величин, методів обчислень, техніки безпеки при роботі із радіоактивними речовинами й іншими джерелами випромінювань, дозиметрією й радіометрією в об'єктах навколишнього середовища, продукції рослинництва і тваринництва, яку споживає людина.

У навчальному посібнику приведені лабораторні роботи та розрахункові завдання, які дозволять студентам оволодіти знаннями по роботі з приладами, визначенням вмісту радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища, вимірювання радіаційного фону, обрахунку доз опромінення тощо.

Навчальний посібник містить галузеві стандарти України по методам відбору проб ґрунтів, рослинної і тваринної продукції для радіаційного контролю, методів визначення безпеки харчових продуктів.

Навчальний посібник складається з чотирьох частин: історичні аспекти становлення і розвитку сільськогосподарської радіобіології, радіоактивність, види іонізуючих випромінювань та їх дозиметрія, радіаційна безпека, вимоги до облаштування радіобіологічних лабораторій та лабораторно-розрахункової частини.

Перелік скорочень

БФЛ – науково-дослідна біофізична лабораторія Московської с-г академії ім.К.А.Тімірязєва, створена у 1947 р.

ТУЕ – трансуранові елементи

ГДД – гранично допустима доза

ДДД – добова допустима доза

ЕЕД – ефективна еквівалентна доза

ДВ – доза випромінювання

ДЕ – доза експозиційна

ПД – поглинена доза

ЕД – еквівалентна доза

КІД – комплект індивідуального дозиметричного контролю

ПЕД – потужність еквівалентної дози

ПАЕД – потужність амбієнтного еквівалента дози фотонного випромінювання

ПМСА – питома маса сумарної активності

НРБ – норми радіаційної безпеки

НРБУ - норми радіаційної безпеки прийняті в Україні

РАВ – радіоактивні відходи

НП – населений пункт

ГВК – ґрунтово-вбірний комплекс

ПА - питома радіоактивність сировини

ЩЗГ – щільність забруднення ґрунту

МАГАТЕ – міжнародне агентство з атомної енергії

ISO – міжнародна організація із стандартизації

ВООЗ - Всесвітня організація охорони здоров'я (WHO)

Частина 1. Історичні аспекти становлення і розвитку сільськогосподарської радіобіології

1.1 Радіобіологія – теоретична основа радіоекології

У ході розвитку цивілізації кожна наука виникає, досягає своїх вершин, потім розпадається на кілька частин або зливається з іншими науками, а інколи втрачає актуальність, виконавши свою роль.

До XIX ст. свої соціальні і виробничі потреби людство задовольняло за рахунок метафізичних наук. Достатньо було того, що в них описували світ, який оточує людину, як ізольовані матеріальні об'єкти, що не змінюються від початку свого виникнення. Але вже в середині XIX ст. такі уявлення стали суперечити реаліям життя та виробничій діяльності людини. У відповідь на це виникли нові наукові напрями – такі, як еволюційне вчення, генетика, мікробіологія та багато ін. У цей період у сфері науки почали домінувати напрями, головною ідеєю яких стало дослідження розвитку всіх природних об'єктів та явищ. З розвитком цивілізації на зміну цій ідеї прийшла нова – ідея взаємозв'язку і взаємозумовленості структур і явищ природи. Якраз це і стало періодом становлення і формування сучасної екології.

Термін „екологія” вперше запропонував німецький біолог Е. Геккель у 1866 році. В перекладі з грецької слово „оїкос” означає дім. Тобто екологія – це наука про „дім”, природу, що оточує нас. Але поступово зміст екології розширювався, змінювалося її місце в системі наук. Із суто біологічної науки „вона трансформувалася в науку про структуру та функцію природи в цілому, науку про біосферу, науку, що вивчає місце людини на нашій планеті, науку про взаємозв'язки всього живого на нашій планеті між собою та з довкіллям” [1].

Сьогодні екологію розглядають як міждисциплінарну науку, що взяла на озброєння всі методи теорії систем. Таким чином вона опинилася на перехресті біологічних і гуманітарних наук. За визначенням відомого вітчизняного ученого-еколога М.Ф.Реймерса, до складу сучасної екології входить 39 розділів, а сама вона тісно пов'язана з 70 великими науковими

дисциплінами. Отже, становлення екології як науки є наслідком розвитку цивілізації, науково–технічного прогресу та якісної зміни місця людини в природі.

Відомо, що досягнення науково–технічного прогресу істотно впливають на визначення темпів соціального і економічного розвитку суспільства. Історичний досвід минулого свідчить, що соціальні зміни та економічні реформи мають значний вплив і на розвиток дослідницької справи. Гортаючи книгу історії науки, бачимо, що кінець XIX і XX ст. увійдуть в історію цивілізації як період великих відкриттів у галузі фізики, біології, медицини, атомної енергетики, розробки і створення озброєння нового типу. Ці досягнення створили умови появи багатьох нових напрямів науки взагалі і радіології, радіобіології та радіоекології зокрема.

Теоретичною основою радіоекології є класична радіобіологія, яка вивчає первинні механізми впливу іонізуючого опромінення на живі організми різної будови і рівня організації взагалі і тісно пов'язана з біофізикою. Сучасна загальна радіобіологія являє собою комплексну міждисциплінарну галузь біологічної науки з чітко виділеними окремими напрямками, в тому числі і сільськогосподарською радіобіологією [1, 2, 3, 4, 5, 6].

На сучасному етапі розвитку цивілізації сільськогосподарська радіоекологія являє собою самостійний напрям загальної радіаційної екології. В свою чергу радіоекологія є складовою частиною радіобіології і екології, що вивчає взаємодію радіонуклідів з екосистемами: розподіл і процеси кругообігу радіонуклідів за участю продуцентів, консументів і радіонуклідів, міграцію їх між ланками трофічних ланцюгів наземних та водних екосистем, розподіл доз опромінення біологічних компонентів у просторі та часі. Одним із головних завдань радіоекології є виявлення найбільш критичних ланок, вміст радіонуклідів у яких значно вищий, ніж в інших, створення математичних моделей міграції радіонуклідів по трофічним

ланцюгам та встановлення безпечних рівнів вмісту в навколишньому середовищі [5, 7].

Ось як визначає суть науки радіоекології академік НАН України Д.М.Гродзинський у роботі „Радіобіологія рослин” в якій він пише: „Несколько автономное положение занимает радиоэкология – наука о распространении радионуклидов по элементам экологических систем – почвам, природным водам, растениям, животным и так далее – и об экологическом значении радиационного фактора, обусловленного попавшими в среду радионуклидами. Автономность этой области радиобиологии вытекает из того, что её ведущей методологией исследования является экология, хотя первопричина экологических изменений под влиянием радионуклидов – радиобиологические эффекты, относящиеся к области радиобиологии растений” [8].

Навіть такий короткий аналіз значень термінів „радіоекологія” і „радіобіологія” свідчить, що ці розділи науки виникли в процесі розвитку цивілізації на базі досягнень науково-технічного прогресу та природничих наук, які дали початок біології і екології.

1.2 Етапи розвитку радіобіології в СРСР.

Перший період. Народження радіобіології як самостійної науки пов'язане з великими відкриттями в галузі фізики, а формування і становлення її як самостійної галузі науки відбувалося за кілька періодів. Початковий період розпочався у 1895 році, коли німецький фізик В.К.Рентген описав і опублікував праці про невідомі X–промені, які потім були названі його ім'ям. Рентгену допоміг випадок. 8 листопада 1895 року він закінчив пізно ввечері експеримент у лабораторії фізичного інституту Вюрцбургського університету і, погасивши лампу, побачив у темряві зеленувате свічення. Воно виходило від кристаликів платиносинеродистого барію, що містився поблизу загорнутої у щільний чорний папір газорозрядної катодної трубки, яку Рентген забув вимкнути, і виникало знову при її включенні. У Рентгена з'явилася геніальна здогадка, що під час проходження

струму в трубці виникає невідоме випромінювання, яке він назвав X-променями. Упродовж 2 років Рентген дослідив властивості відкритих ним променів, створив перші „рентгенівські” трубки. Публікації щодо X-променів привернули увагу вчених всього світу. Про це свідчить той факт, що протягом 1896 року було опубліковано понад тисячу робіт щодо дослідження їхніх властивостей і застосування. За це відкриття Рентгену в 1901 році була присуджена перша Нобелівська премія з фізики [9,10]. У цей час професор фізики Паризького музею природної історії А.Беккерель досліджував індукване сонячним світлом свічення різних мінералів і встановив, що найбільш інтенсивно воно виникає у солей урану. У березні 1896 року була опублікована перша стаття А.Беккереля про деякі властивості невидимих випромінювань уранових солей. Він довів, що якщо покласти сіль урану на фотопластинку, загорнуту в щільний чорний папір і помістити на сонячне світло, то пластинка засвічується в тому місці, де була сіль. Потім він загорнуту в чорний папір пластинку із сіллю залишив у темному ящику. Через кілька днів Беккерель проявив пластинку. На ній він побачив чіткі контури солі у вигляді хреста. Так були відкриті уранові або „беккерелеві” промені. Фактично це було відкриття природної радіоактивності і в 1903 році А.Беккерель був удостоєний також Нобелівської премії, що є свідченням великої значимості цього наукового досягнення. Аналізуючи відкриття В.Рентгена і А.Беккереля, вчені зрозуміли, що мова йде про невидимі промені, які здатні проникати через світлонепроникний бар’єр [9, 10, 6].

Тому увага вчених різних лабораторій була сконцентрована на пошуках нових променів-невидимок. У кінці 1897 року відкритими урановими, „беккерелевими” променями зацікавилась М.Склодовська-Кюрі. Нею було встановлено здатність випромінювати ураном і торієм „беккерелевих” променів. З цього приводу вона писала: „Я назвала радіоактивністю способность испускать такие лучи и создала новый термин, принятый с тех пор в науке”. Випромінюючі елементи були названі радіоелементами від слова *radius* – промінь. Таким чином, роком народження

поняття „радіоактивність”, введеного М.Склодовською–Кюрі вважається 1898 рік [9]. Цілеспрямовано досліджуючи цю проблему, подружжя Кюрі в липні 1898 року відкрили властивість радіоактивності у зовсім нового елемента, першого відкритого саме за радіоактивністю і названого полонієм, а в грудні цього самого року ще у одного нового елемента – радію. Ці елементи в періодичній системі елементів Д.І.Менделєєва зайняли порожні місця під порядковими номерами 84 і 88. Це було третє велике відкриття, за яке в 1903р. подружжя Кюрі було удостоєне також Нобелівської премії.

Про негативну біологічну дію іонізуючого випромінювання на здоров`я людей стало відомо практично відразу ж після його відкриття. Першою жертвою радіаційного впливу став сам Беккерель. Для демонстрації властивостей урану засвічувані фотопластили він носив ампулу з препаратом радіоактивної солі в кишені жилету. Невдовзі він побачив на шкірі проти цього місця виразку, яку довго лікував. Таким чином він описав дію радіоактивних речовин на людину. Від раку, внаслідок променевого ураження, померла М. Склодовська–Кюрі. Від цієї хвороби загинули її донька І.Кюрі та чоловік Ф.Жоліо–Кюрі – видатні фізики, лауреати Нобелівської премії за відкриття штучної радіоактивності елементів у 1934 році.

Доречно зауважити, що у 30–х роках минулого століття в Німеччині в місті Гамбурзі в Інституті Макса Планка, було встановлено пам`ятник ученим–фізикам, радіобіологам, лікарям–рентгенологам – жертвам променевої хвороби, на якому значились прізвища 103 дослідників. Через 10 років список збільшився в 3 рази.

Слід підкреслити, що наукові експерименти щодо впливу іонізуючої радіації на живі організми почали проводити одразу ж після відкриття X–променів і явища радіоактивності. Першим дослідником був російський учений І.Р.Тарханов, який вже у березні 1896 року провів досліди з дії цих променів на жаб та комах. Він показав ушкоджуючу властивість X–променів. На початку ХХ століття (1903) фундаментальні дослідження дії X–променів і

променів радіо провів на тваринах і рослинах відомий російський патофізіолог і біохімік Ю.С.Лондон. Він розкрив механізм ушкоджуючої дії іонізуючого випромінювання на різні системи організму. Ю.С.Лондон вважається основоположником радіобіології в Росії, а його монографія „Радий в биологии и медицине”, опублікована у 1911 році, є першим у світі виданням з радіобіології.

У 1904 році німецький вчений Г.Петерс виявив порушення клітинного поділу під впливом іонізуючої радіації. У 1905 році М.Корніке встановив, що найбільше ушкоджується радіацією ядро клітини. Він описав різні типи порушень поділу ядра і хромосом. Саме він вважається засновником нового напрямку науки – радіаційної цитології.

Формування радіобіології в Росії проходило в дні великих потрясінь - перша світова війна, революція, громадянська війна. Незважаючи на це вже у 1918 році, за пропозицією професора М.Неменова, Наркомпрос РСФРР в особі А.В.Луначарського організує в Ленінграді науковий центр для всестороннього изучения действия рентгеновских лучей и радия на организм человека, животных и растений и для создания научно-образованных специалистов рентгенологов и радиологов. Слід підкреслити, що завдяки класичним роботам Г.А.Надсона, Г.С.Філіпова та інших учених створеного нового центру, радіологія розвивалась на твердій фундаментальній основі [13, 14–21].

Таким чином, останні роки ХІХ ст. і перші два десятиріччя ХХ ст. стали першим етапом розвитку радіобіології. За ці роки було нагромаджено численну кількість фактів про дію Х-променів і випромінювання радіоактивних елементів на біологічні об'єкти. Хоча вони носили описовий характер, але мали велике фундаментальне значення. Умовно це був кінець першого і початок другого періоду розвитку радіобіології як самостійного напрямку науки.

Другий період. У 20-х – 30-х роках ХХ ст. було зроблено низку важливих відкриттів, з'явилися нові ідеї. У 1923 році німецький фізіолог

рослин Є.Петрі показав, що за рентгенівського опромінення насіння і паростків пшениці в атмосфері вуглекислого газу радіаційне ушкодження знижується порівняно з опроміненням у повітрі. Наступні дослідження підтвердили факт загально-біологічного значення цього явища, названого „кисневим ефектом”.

Ці роки ознаменувались ще одним значним відкриттям – встановленням мутагенної дії іонізуючої радіації. Вперше це зробили російські вчені Н.В.Тимофєєв – Ресовський [274], Г.А.Надсон і Г.С.Філіпов [14, 15] у 1925 році на нижчих грибах. Працями цих видатних учених в експериментах на дріжджах було показано, що під впливом випромінювання радію і X-променів виникають нові мікроорганізми, які вони назвали радіо-і рентгенорасами. Виникаючі раси відрізнялись від вихідних форм як за своєю будовою і розвитком, так і за життєвими властивостями, наприклад, інтенсивністю росту, здатності утворювати пігмент, накопичувати жир, посиленою властивістю спричиняти спиртове бродіння та ін. „Эти новые расы оказались стойкими и в течение ряда лет передавали по наследству свои способности следующим поколениям; они носят характер «сальтантов», что соответствует мутантам высших организмов. Такого рода расообразование под влиянием лучей представляет не только значительный теоретический интерес, но и открывает некоторые перспективы для практики” – стверджував Г.А. Надсон [14].

У 1927 році американський генетик Г.Мьолер відкрив мутагенний ефект на дрозофілі і одержав за це відкриття Нобелівську премію. Це явище на вищих рослинах описав у 1928 році Л.Стедлер.

Роботи з радіаційного мутагенезу вищих рослин в Україні в середині 20-х років ХХ ст. проводили Л.М. Делоне [22], С. Дука [23, 24] та А.О. Сапегін [25, 26, 27]. Слід підкреслити, що явище радіаційного мутагенезу стало основою нового напрямку науки радіаційної генетики.

Можна стверджувати, що названі відкриття стали основою узагальнень і формування теоретичних засад біологічної дії іонізуючого опромінення.

На початку 20-х років минулого століття німецький фізик Ф.Десауер почав досліджувати так званий „радіобіологічний парадокс”, тобто велику невідповідність між дуже малою величиною поглинутої при опроміненні енергії іонізуючого випромінювання і ступенем прояву реакцій біологічного об’єкта, що нерідко призводить до його загибелі. Він припустив, що електрони, вирвані з атому речовини клітини, не віддаляються від нього, а вступають у рекомбінацію, тобто утворюють нейтральні атоми і молекули. У результаті поглинута енергія виділяється у формі теплоти і температура в цьому місці різко підвищується. Якщо це проходить у відповідальних місцях, наприклад у хромосомах, таке локальне ушкодження може призвести до пошкодження всієї клітини. Так виникла перша теорія, що якоюсь мірою пояснювала дію іонізуючої радіації на організм, і одержала назву теорії прямої дії [28, 29, 30, 31, 32].

У наступні роки дослідженнями Д.Кроутера в Англії (1924–1927), Ф.Хольвека у Франції (1928–1938) та іншими були розвинуті уявлення про дискретність дії іонізуючого випромінювання, процес поглинання енергії як суму одиничних актів взаємодії фотона з окремими молекулами чи структурами клітини. У подальшому ці погляди були розвинуті в теорії мішені, сформульовані в 1935 році видатним російським радіобіологом М.В.Тимофєєвим–Ресовським та німецьким дослідником К.Ціммером у класичній роботі „О природе генных мутаций и структуры гена”. У 30-х роках ХХ століття на основі радіаційно–хімічних досліджень О.Рісе (1929) і Г.Фріка (1934) одержала життя теорія непрямой дії радіації.

Але, попри численні дослідження, нагромадження великого експериментального матеріалу, зроблені узагальнення, появу теорій в кінці 30-х років ХХ ст., радіобіологія як самостійна наука не оформилась. Радіобіологією займались в основному ентузіасти–біологи, фізики, медики–

рентгенологи і радіологи. Ще не були відомі потенційні можливості атомної енергії, не існувало атомної енергетики, не було створено ядерної зброї, а значить, не існувало загрози радіаційної небезпеки. Але фізики–ядерники вже здогадувались про незвичайні енергетичні можливості атома і його небезпеку.

Наш співвітчизник, видатний радіобіолог і біогеохімік В.І.Вернадський однозначно застерігав і писав про глобальну радіаційну загрозу, що несуть подальші дослідження фізиків–ядерників та закликав їх до обережності і відповідальності. Він наголошував: „Недалеко время, когда человек получит в свои руки атомную энергию, такой источник силы, который даст ему возможность строить свою жизнь, как он захочет. Это может случиться через столетия. Но ясно, что должно быть. Сумеет ли человек воспользоваться этой силой, направит её на добро, а не на самоуничтожение? Дорос ли он до умения использовать силу, которую неизбежно должна дать ему наука?” Ці слова великого вченого справді стали пророчими. У другій половині ХХ ст. у світі були створені і ядерна зброя, і атомна промисловість, і атомна енергетика [3].

Третій період. Початок 40–х років ХХ ст. можна вважати кінцем другого і початком третього періоду розвитку радіобіології. У цей час інтенсивно велись дослідження проблем ядерної фізики. У 1945 році США провели випробування ядерної бомби, скинувши її на японські міста Хіросіму та Нагасакі. СРСР також проводив ядерні випробування. В результаті виникла радіаційна загроза навколишньому середовищу. Світ пересвідчився в реальності одночасної загибелі великої кількості людей. Тому інтерес до наслідків біологічної дії іонізуючого випромінювання значно зріс. Виникла потреба дослідити ураження біологічних об'єктів при їх тотальному опроміненні, причини різної радіочутливості організмів, роль радіації у виникненні шкідливих мутацій, закономірності і причини зниження імунітету, утворення пухлин, скорочення тривалості життя. Потребували розв'язання і практичні завдання – як захистити організм від опромінення.

Саме в цей період радіаційна біологія сформувалась у самостійну науку. У багатьох країнах Європи, Азії, США, СРСР при великих атомних центрах створюються радіобіологічні лабораторії, науково–дослідні інститути. Імена видатних радіобіологів того часу добре відомі. Це - А.Холендер, А.Сперроу, Ш.Вольф, Г.Куртіс, Р.Кімбол (США), П.Александр, Т.Альпер, Д.Доерті, Л.Грей, Л.Лайсі (Великобританія), Р.Латарж (Франція), К.Ціммер, Б.Раєвський (Німеччина), З.Бак (Бельгія) та багатьох інших.

В СРСР у цей період також сформувався великий загін вітчизняних радіобіологів при створених і діючих радіологічних центрах в Інституті біофізики АМН СРСР (Москва), Інституті біофізики АН СРСР (Москва–Пуціно), Московському державному університеті ім. М.В.Ломоносова, Інституті хімічної фізики АН СРСР (Москва), Всесоюзному онкологічному центрі АМН СРСР (Москва), Ленінградському інституті ядерної фізики АН СРСР, Інституті медичної радіології АМН СРСР (Обнінськ), Інституті фізіології рослин АН УРСР (Київ) [8, 33, 34, 35].

Слід зазначити, що у ці роки досягнення радіобіології широко використовуються для розв'язання практичних завдань медицини щодо діагностики і лікування хвороб, одержання нових сортів рослин, стимуляції їх росту і продуктивності, боротьби з комахами – шкідниками, знезараження та консервування продуктів. У 50–х роках ХХ ст. було експериментально доведено явище післярадіаційного відновлення клітин. У 60–70–х роках ХХ ст. у радіобіології розширюється використання біофізичних методів досліджень, ідей молекулярної біології. Накопичені і узагальнені нові експериментальні дані дали можливість сформулювати теорії прямої і непрямой дії іонізуючих випромінювань. Остаточно було зроблено висновок про те, що основною мішенню іонізуючого випромінювання є ДНК. Показано явище молекулярної репарації ДНК, повністю впорядковується схема променевого ураження організму.

Слід підкреслити, що після заборони в 1963 році випробувань ядерної зброї, спостерігається тенденція до зменшення радіобіологічних досліджень.

Кількість спеціальних лабораторій в СРСР зменшилась майже втричі, а на території України, де практично були ліквідовані ці напрями досліджень. Це була велика помилка. Шкідливість такого самозаспокоєння підтвердила аварія на Чорнобильській АЕС.

1.3 Становлення і розвиток радіобіології в Україні

Викладена нами історія розвитку загальної радіобіології стосується в основному її розвитку в Росії (в центрах Москви, Ленінграда). Поряд з цим значні роботи в цьому напрямі проводились в інших центрах, зокрема в Україні.

До числа перших дослідників біологічної дії X–променів в Україні в кінці XIX ст. належить професор Київського університету фізик Г.Г.Де–Метц, лікарі–радіобіологи С.З. Гольберг, М.І. Ісаченко, К.П. Серапіна та ін. Дані дослідження мали в основному прикладний характер і були спрямовані на вирішення проблем діагностики і лікування низки захворювань, терапії злоякісних новоутворень. Серед українських радіобіологів були вчені, які вивчали дію X–променів і радіоактивних речовин на розвиток клітин у тканинних культурах, шкідливість їхньої поліференції, властивості опромінення клітин і тканин. До них належать дослідники С.П.Григор’єв, О.О.Кронтовський [16], М.А. Магат [36].

Вже в 1920 році, ще до закінчення громадянської війни, були створені Українська рентгенівська академія (м.Харків), Київський рентгенівський інститут та Одеський рентгено–онкологічний інститут ім. проф. Я.В.Зільберберга [57]. Вони стали центрами розвитку в Україні досліджень у галузі практичного застосування X–променів, а потім і радію та інших радіоактивних елементів у діагностиці і терапії грибкових, запальних хвороб і злоякісних пухлин. Так, у 1924 році в Українській рентгенівській академії (м.Харків, перший директор С.П.Григор’єв), була створена біологічна лабораторія. У Київському рентгенівському інституті (експериментальний відділ) під керівництвом О.О.Кронтовського було розгорнуто дослідження

впливу X–променів і радіоактивних речовин на розвиток клітин у тканинних культурах, на проникність клітин і тканин, клітинну поліференцію.

Після смерті О.О.Кронтовського у 1929 році цей напрям пошуків продовжив М.А.Магат. З іменем М.А.Магата пов'язані роботи з вивчення фізико-хімічних властивостей опромінених тканин, експериментальне з'ясування переваги методу пролонгованого опромінення при променевої терапії злоякісних новоутворень.

У біологічній лабораторії Одеського рентгено–онкологічного інституту ім. проф. Я.В.Зільберберга С.О.Нікітіним вперше була доведена залежність радіочутливості від процесу тканинної диференціації. Ним встановлено, що тканини із закінченим морфогенезом резистентніші до дії радіації, ніж ті, що розвиваються.

Світове значення мають роботи Г.О. Надсона, Г.С. Філіпова [14, 15, 20, 21] і Л.Н. Делоне [22] виконані в 1925–1930 роках у Харкові, Маслівському селекційному інституті на Київщині. В них показано виникнення мутацій у дріжджів, пшениці під дією променів радію та X–променів. На жаль, тоді ці роботи не були оцінені і вони істотно не вплинули на розвиток науки. І лише після того, як у 1927 році Г. Меллер, на дрозофілі, а С.Стадлер на кукурудзі одержали чітку кількісну залежність виходу мутацій від дози опромінювання, було закладено фундамент радіаційної генетики.

Піонерськими роботами Л.Н. Делоне (1891–1969) було встановлено виникнення мутацій у пшениці під дією X–променів. Результати цих досліджень Л.Н. Делоне видав у серії робіт під загальною назвою „Опыты по рентгенизации культурных растений” [37-42, 43].

Світове значення мають і роботи А.О.Сапегіна (1883–1946), що проводились в Інституті ботаніки (м.Київ) щодо вивчення природи виникнення мутації у твердих і м'яких пшениць під впливом X–променів. Він першим побачив перспективи створення нових сортів, використовуючи радіаційні мутації, під дією опромінення X–променями [44, 45].

У 50–х роках минулого століття під впливом досягнень фундаментальних наук – таких як ядерна фізика, радіаційна хімія та інших радіобіологія як наука і медична радіологія як сфера практичного її застосування вступили в новий етап свого розвитку. У ці роки в Україні перспективні дослідження були сконцентровані у кількох наукових колективах. Найбільш продуктивним і чисельно найбільшим був колектив, очолюваний О.П.Городецьким. Спочатку цю роботу він розпочав на кафедрі рентгенології і медичної радіології Київського інституту удосконалення лікарів, яка була організована в 1936 році за рішенням Наркомату охорони здоров'я України в складі завідувача кафедри доцента М.І.Шора і двох асистентів. В 1944 році кафедру очолив О.П.Городецький. Експериментальною базою кафедри, де проводили дослідження, був Київський науково–дослідний рентген–радіо–онкологічний інститут (КРРОІ). У 1954 році кафедра була реорганізована в кафедру рентгенології і радіології. Під керівництвом професора О.П.Городецького було підготовлено та захищено 3 дисертації на ступінь доктора медичних наук і 15 на ступінь кандидата наук. У 1957 році вченого обрали член-кореспондентом АН УРСР [45]. Пізніше діяльність О.П.Городецького була пов'язана з Інститутом фізіології ім. О.О.Богомольця АН УРСР, Інститутом фізики АН УРСР, сектором молекулярної біології і генетики Інституту мікробіології АН УРСР, Інститутом експериментальної і клінічної онкології Міністерства охорони здоров'я УРСР. Була створена Наукова Рада АН УРСР з проблеми „Радіобіологія” під головуванням О.П.Городецького.

Під його керівництвом розгорнулись дослідження у кількох найактуальніших напрямках, які з успіхом продовжують його учні та послідовники. Тут досліджуються способи і засоби стимуляції виведення із організму радіоактивних речовин (цезію, стронцію, фосфору, кальцію). Активно розробляються засоби хімічного захисту від променевого ураження, особливості дії на живі організми щільної іонізуючої радіації, дозиметрії радіації, біофізичних, біохімічних та морфофункціональних процесів в

опроміненому організмі. Проводяться також порівняльні дослідження дії зовнішнього і внутрішнього опромінення, нейтронів та радіоіонізуючих випромінювань. Результати цих досліджень відображені в монографіях, численних наукових працях і збірниках за редакцією О.П.Городецького [46-54], після Чорнобильської катастрофи набули особливої актуальності. Таким чином, наукова діяльність А.О.Городецького сприяла широкому розгортанню досліджень з радіобіології в Україні. Він вніс вагомий внесок у розвиток і становлення радіобіології в Україні на початку 50-х років ХХ ст. Щироке вивчення основних проблем загальної та рослинної радіобіології розгорнулося в той час у відділі, а пізніше секторі радіобіології та біофізики Інституту фізіології рослин та Інституту клінічної біології та інженерії АН України під керівництвом академіка АН України Д.М.Гродзинського.

1.3.1 Академік Д.М.Гродзинський – засновник Української школи радіобіологів рослин

У 50-х роках ХХ ст. в Інституті фізіології рослин АН У РСР починає формуватися українська школа радіобіологів рослин. У витоків народження цієї наукової школи став молодий вчений Д.М.Гродзинський.

Головним напрямом наукової діяльності Д.М.Гродзинського є фундаментальні дослідження біофізичних аспектів фізіологічних реакцій та механізмів дії іонізуючого випромінювання на вищі рослини. Ідеї Д.М.Гродзинського з проблем надійності біологічних систем, природної радіоактивності ґрунтів та рослин, його розуміння внутрішньоклітинної організації метаболічних фондів та законів живої природи зробили його живим класиком біологічної науки.

У 1947 році Дмитро Михайлович з золотою медаллю закінчив середню школу, а в 1952 році з відзнакою агрономічний факультет Білоцерківського сільськогосподарського інституту і розпочав трудову діяльність старшим агрономом навчально-дослідного господарства. Водночас у 1948 році навчався на заочному відділенні механіко-

математичного факультету Московського державного університету ім. М.В.Ломоносова. Як учений-фізіолог рослин Д.М.Гродзінський формувався навчаючись в аспірантурі Інституту фізіології рослин та агрохімії АН УРСР під керівництвом академіка АН УРСР і ВАСГНІЛ П.А.Власюка. Тут він розпочав фундаментальні дослідження в галузі радіобіології та застосування методу мічених атомів у рослинництві. У цей час, закінчив у 1954 році мехмат Московського університету. В аспірантурі читав лекції з атомної енергетики, поповнював знання з біології і фізики, розгорнув фундаментальні та прикладні дослідження. Уже тоді, у далекі 50-ті роки ХХ століття, молодого дослідника зацікавили механізми впливу малих доз іонізуючого випромінювання на живі організми - проблема, яка нині, після Чорнобильської катастрофи набула особливої гостроти. Саме тоді проявився властивий Д.М.Гродзінському талант нетрадиційного підходу до проведення експериментів та глибокого теоретичного осмислення здобутих результатів. Як наслідок - блискучий захист у 1955 році кандидатської дисертації на тему „Действие малих доз ионизирующих излучений на растения". Висловлені в цій праці ідеї та підходи стали основою формування ряду проблем радіобіології рослин, механізмів їх радіостійкості, протипроменевого захисту та післярадіаційного відновлення, успішна розробка яких здійснювалась у наступні роки. Водночас молодого вченого захопили дослідження в галузі фізіології та біохімії рослин із застосуванням радіоізотопного методу.

У 1962 році вийшла у світ перша книга під назвою „Методика применения радиоактивных изотопов в биологии". У 1963 році був написаний і опублікований „Краткий справочник по физиологии растений" у співавторстві з братом А.М.Гродзінським, в якому зібрані різноманітні матеріали. Це була перша спроба скласти словник термінів з фізіології рослин.

У 1962-1963 рр. на запрошення Всесвітньої організації з продовольства й харчування ООН (ФАО) Д.М.Гродзінський працював в

Югославії експертом із застосування нових методів досліджень, зокрема методу мічених атомів у фізіології рослин.

У 1965 році захистив докторську дисертацію, присвячену вивченню фізіологічної ролі природної радіоактивності в житті рослин, значенню радіоактивних властивостей одного з основних елементів живлення рослин - калію, ролі радіоактивності у виникненні життя на Землі та в еволюції видів.

Ще у 1962 році організував Відділ біофізики і радіобіології. В Інституті фізіології рослин АН УРСР Д.М.Гродзінський пройшов всі етапи шляху від аспіранта і молодшого співробітника до директора цього інституту, яким керував з 1974 року до 1986 року.

Наукові напрями Відділу були досить різноманітними: тут зосереджувались дослідження фотосинтезу і метаболізму рослин за допомогою методу мічених атомів на підставі яких була сформульована теорія компартментальності фондів різних метаболітів на окремі підфонди, що відрізняються функціональними значеннями та інтенсивністю участі в обміні речовин у рослинній клітині. Однак основна увага надавалась вивченню реакції рослин на дію іонізуючої радіації. Надзвичайною подією у житті Відділу було проведення 1-го всесоюзного симпозіуму з радіобіології рослин.

У 1966 році у серії науково-популярної літератури друком вийшла книга „Модели живого и ботаническая бионика“, в якій автор розказав про нову науку ботанічну біоніку і дослідження тих явищ в рослинах, що можуть лягти в основу подальшої розробки та удосконалення різноманітних технічних пристроїв і систем.

У 1969 році Д.М.Гродзінському було присвоєне вчене звання професора зі спеціальності „Фізіологія рослин“.

У 1970 році виходить монографія „Естественная радиоактивность растений и почв“, в якій отримали подальший розвиток ідеї про біологічне значення природної радіоактивності та механізмів дії малих доз іонізуючого випромінювання.

Глибока наукова ерудиція та енциклопедичні знання дозволили професору Д.М.Гродзинському найбільш повно узагальнити вже існуючий в світовій науці матеріал у галузі теоретичної біології, біологічної фізики та радіаційної біології та підготувати першу в світі фундаментальну монографію „Биофизика растений", яка вийшла з друку у 1972 році та була переведена англійською та польською мовами.

На формування чітких наукових напрямів Відділу біофізики та радіобіології, підготовку наукових кадрів для забезпечення реалізації ідей спрямовував основні зусилля Д.М.Гродзинський. Ширшало коло проблем над яким працював Відділ. Серед них розкриття репопуляційних механізмів післярадіаційного відновлення та захисту від променевого ураження, системний підхід у дослідженнях явищ репарації та репопуляції, розробка радіобіологічних методів для вивчення міжклітинної взаємодії. У Відділі працювали над розробками, які мали практичне значення. Саме при безпосередній участі Д.М.Гродзинського впроваджено у практику нові способи радіаційного мутагенезу та ядерного бездеградаційного аналізу насіння пшениці на вміст білку, які дозволили значно прискорити отримання високопродуктивних форм сільськогосподарських рослин. Успішно пройшла виробничі випробування та запатентована радіаційна технологія обробки чубуків винограду перед щепленням, що дозволяє значно збільшити вихід високоякісних стійких до філоксери виноградних саджанців і здешевіти їх виробництво.

Результати цього періоду діяльності Відділу були узагальнені у монографіях і збірниках: „Противолучевая защита и пострadiaционное восстановление растений" (1972), „Защита растений от лучевого поражения"(1973), „Механизмы радиоустойчивости растений" (1976), „Формы пострadiaционного восстановления растений" (1980), „Формирование радиобиологической реакции растений" (1984), „Клеточные механизмы пострadiaционного восстановления растений" (1985). У цей період Дмитро Михайлович став лауреатом премії ім.М.Г.Холодного АН УРСР.

У 1975 році відбувся 1-ий симпозиум, присвячений надійності клітин. Основні положення теорії надійності біологічних систем було висвітлено у серії книг з теорії надійності, а саме: „Надежность растительных систем" (1983), „Надежность и старение биологических систем" (1987). Ця ідея Д.М.Гродзинського виявилась евристичною, тому досить швидко опанувала багатьма розділами в біології.

Серед наукових працівників та студентів широкою популярністю користується капітальна праця „Радиобиология растений", яка вийшла з друку в 1988 році. Підручник „Біофізика" (1988) був удостоєний у 1992 році Державної премії в галузі науки і техніки.

Після трагічних подій 1986 року, Чорнобильської аварії, відразу були розгорнуті дослідження, пов'язані з упередженням негативних радіоекологічних і радіобіологічних наслідків аварії. Була розроблена система перепрофілювання сільськогосподарського виробництва в районах з підвищеним рівнем забруднення радіонуклідами, а також рекомендації щодо зниження їх вмісту в продуктах харчування. Результати комплексних досліджень віддалених радіоекологічних, радіобіологічних та медичних наслідків Чорнобильської катастрофи, як основи їх прогнозування та корекції вийшли під редакцією Д.М.Гродзинського у монографіях „Антропогенная радионуклидная аномалия и растения" (1991) та „Віддалені радіобіологічні та радіоекологічні наслідки Чорнобильської аварії" (1996). Вперше створено цілісну картину причинно - наслідкових зв'язків між перерозподілом радіонуклідів в екосистемах, формування дозових навантажень.

Д.М.Гродзинський - один із засновників Української екологічної асоціації „Зелений світ". Читав лекції з проблем екології та захисту рослин в університетах Великобританії, США, Югославії. До 10-річчя Чорнобильської катастрофи виступав з лекціями в Колумбійському та Гумбольтському університетах (1996). Він є автором близько 700 наукових праць, серед яких 20 монографій. Відома у світі наукова школа Д.М.Гродзинського у галузі радіобіології рослин, яка нині становить понад 50 кандидатів та 10 докторів

наук. Чудовий педагог, він вміє захопити молодих дослідників творчими задумами. Від 1957 року викладає у Київському університеті ім. Т.Шевченка, завідувач та професор кафедри радіобіології, водночас професор Національного університету „Києво-Могилянська Академія" та Міжнародного Соломонового університету.

Від 1990 року Д.М.Гродзинський - дійсний член національної АН України із спеціальності „Радіобіологія". У 1998 році до 80-річного ювілею Національної АН України академікові Д.М.Гродзинському було присвоєне державне звання „Заслужений діяч науки і техніки України". Водночас його було обрано на посаду академіка-секретаря Відділення загальної біології НАН України. Від 2001 року Д.М.Гродзинський входить до складу науково-консультативної ради науково-популярного журналу „Країна знань". На його сторінках він пише: „Наука - це надійний шлях у впевнене майбутнє справді чарівних можливостей епохи, в яку вже сьогодні вступає нове покоління юнацтва". Високообдарований, високоосвічений, делікатний, улюбленець багатьох - ось такий він академік Дмитро Михайлович Гродзинський. Він є учителем, порадиником та прикладом для всіх. Ім'я Д.М.Гродзинського занесене до Золотої книги української еліти.

Узагальнюючи численні дослідження вітчизняних і зарубіжних радіобіологів [2,13,14,53,83,138,208,343], можна стверджувати, що розвиток в Україні загальної і сільськогосподарської радіобіології, функціонування наукових шкіл зокрема О.П. Городецького, Д.М.Гродзинського відкрив широкі перспективи для використання виявлених закономірностей. На даний час створені і використовуються радіаційно-біологічні технології в різних галузях сільського господарства.

У рослинництві використовуються такі технології: передпосівне опромінення насіння та передпосівне опромінення органів вегетативного розмноження і розсади для прискорення їхнього росту, розвитку та підвищення продуктивності рослин, опромінення насіння та іншого садивного матеріалу (бульби, живці, кореневища) з метою виведення нових

сортів і вихідного матеріалу для їх одержання. Використання методу радіаційного мутагенезу дало можливість створити в світі понад 3 тисяч сортів культурних рослин, серед яких половина – сільськогосподарські культури; радіаційна біотехнологія подолання несумісності тканин і стимуляції зростання при вегетативних щепленнях рослин; радіаційна технологія запобігання проростанню бульб, коренеплодів та цибулин при зберіганні; технологія подовження строків зберігання ягід, фруктів та овочів; радіаційна консервація продукції рослинництва і плідництва; радіаційні способи боротьби з комахами – шкідниками сільськогосподарських культур.

У тваринництві: радіаційна технологія консервування кормів та поліпшення їх якості; подовження строків зберігання м'яса та м'ясних продуктів; технологія знезараження продукції тваринництва; технологія знезараження стічних вод тваринницьких комплексів.

У наукових дослідженнях також використовуються досягнення радіобіології. Розроблено метод ізотопних індикаторів у дослідженнях сільськогосподарської біології; мічені сполуки і добрива; радіоавтографія; методики використання радіоактивних ізотопів у вегетаційних та польових дослідженнях.

1.3.2. Дослідження академіка НААН України І.М.Гудкова з проблем сільськогосподарської радіобіології рослин

Академік Української академії аграрних наук, доктор біологічних наук, професор Ігор Миколайович Гудков, найближчий учень і послідовник академіка Д.М.Гродзинського, зробив значний особистий внесок у розвиток радіобіології рослин і радіаційної цитології. Його наукові праці відомі не лише в нашій країні, а і за її межами. Вони отримали міжнародне визнання.

Народився І.М. Гудков 27 липня 1940 року. Після закінчення школи в 1957 році вступив на факультет агрохімії і ґрунтознавства Української сільськогосподарської академії і в 1962 році отримав диплом ученого-агронома за спеціальністю агрохімік-ґрунтознавець. Наукові інтереси

І.М.Гудкова формувались під впливом видатного вченого академіка П.А.Власюка.

Після закінчення академії він працює в 1962-1964 роках молодшим науковим співробітником Миронівської селекційно-дослідної станції в Київській області. Тут він проводив дослідження з вивчення впливу іонізуючої радіації на процеси обміну і продуктивність рослин, по модифікації радіаційного ураження.

З 1964 року по 1987 рік доля пов'язала його з Інститутом фізіології рослин АН УРСР, де він подолав шлях від аспіранта, молодшого, а потім старшого наукового співробітника, завідувача науковим відділом, до заступника директора інституту з наукової роботи. Тут він став кандидатом (1967) і доктором біологічних наук (1979).

Під керівництвом П.А.Власюка і Д.М.Гродзинського досліджував радіозахисні властивості солей заліза, цинку, марганцю, кобальту і фітогормонів. Цими дослідженнями І.М.Гудков вперше довів радіозахисні властивості солей цих металів і ефективність цих з'єднань не тільки при гострому, а і хронічному гамма випромінюванні. Разом із Д.М.Гродзинським і Є.Ю. Фіалковою ним встановлена висока протипроменева ефективність ненасичених вуглеводнів [55-60]. З кінця 60-х років ХХ ст. І.М.Гудков починає дослідження механізмів пострадіаційного відновлення рослин. Ним вперше було досліджено методом авторадіографії і продемонстровано позаплановий синтез ДНК у клітинах рослин, доведена можливість їх відновлення шляхом репарації цієї макромолекули [59, 71-73].

Особливо важливе значення мають дослідження І.М.Гудкова щодо впливу іонізуючого випромінювання на поліферацію клітин рослин. Детально вивчивши пофазну радіочутливість меристемних клітин у спокої, а також кінетику їх розмноження в пострадіаційний період, він показав роль клітинної гетерогенності в радіостійкості і пострадіаційному відновленні утворювальних тканин. Його дослідження засвідчили, що меристеми тканин як специфічні утворювальні тканини являють собою популяцію стовпових і

напівстовпових клітин, мають властивості високої радіочутливості, що може бути зіставлена з радіочутливістю проліферуючих клітин ссавців. Тому він запропонував називати їх критичними тканинами рослин. Дослідник довів, що закономірності порушення клітин цих постійно відновлюваних тканин, їхніх змін під впливом випромінювання і відновлення однакові для всіх високоорганізованих багатоклітинних організмів та меристеми і можуть слугувати зручною моделлю для вивчення цих процесів [65-72].

Праці І.М.Гудкова одержали визнання не тільки серед радіобіологів рослин, а і спеціалістів у галузі радіобіології тварин і людини. У 60 - 70-х роках минулого століття разом з академіком Д.М.Гродзинським він організовує роботу з індукції радіаційного мутагенезу у рослин, проводить масове опромінення селекційного матеріалу для використання в закладах, що працюють у цьому напрямі. Він провів досліди на гамма-полі одного з відділень Всесоюзного інституту рослинництва, якими було доведено можливість протипроменевого захисту рослин в умовах хронічного опромінення.

У 1987 році І.М.Гудков повертається в Українську сільськогосподарську академію і організовує першу в Україні кафедру радіобіології. Після аварії на Чорнобильській АЕС перед радіобіологічною наукою постали нові завдання, пов'язані із запобіганням негативним радіоекологічним та радіобіологічним наслідкам аварії. На кафедрі започатковуються дослідження з оцінки радіонуклідного забруднення ґрунтів і продукції агропромислового виробництва, пошуку шляхів мінімізації накопичення радіонуклідів у рослинах і організмі тварин. На основі вивчення механізмів взаємодії елементів живлення і радіонуклідів встановлена можливість деяких мікроелементів блокувати надходження радіостронцію і радіоцезію в рослини, були створені форми складних органо-мінеральних добрив, які знижують накопичення радіонуклідів. Досліджуються можливості використання у тваринництві ентеросорбентів з метою зниження коефіцієнтів переходу радіонуклідів у продукцію тваринництва.

І.М.Гудков - автор понад 320 наукових праць з радіобіології, зокрема 8 монографій, 6 підручників [11, 73-77], має 8 авторських свідоцтв і патентів на винаходи. Під його науковим керівництвом підготовлено 8 кандидатів і 3 доктори наук. За досягнення в галузі науки і підготовки кадрів І.М.Гудков удостоєний звання лауреата премії ім. М.Г.Холодного НАН України і міжнародного звання Соросовського професора. Він є членом редакційної ради журналу „Радиационная биология. Радиоэкология”, ряду спеціалізованих учених рад.

Отже, як учень і послідовник ідей академіка НАН України Д.М.Гродзинського академік НААН І.М.Гудков робить вагомий внесок у розвиток радіобіології в Україні. Під його керівництвом численні учні та послідовники примножують досягнення радіобіологічної науки України.

1.4 Становлення і розвиток сільськогосподарської радіоекології

Значення радіоекології – науки про розповсюдження і поведінку радіонуклідів у біогеосфері зростала з кожним новим вибухом атомних зарядів у військових чи народногосподарських інтересах, з кожною новою аварійною ситуацією на підприємствах атомної промисловості. У середині ХХ ст. стало зрозумілим, що розсіяні в зовнішньому середовищі продукти поділу ядерного палива, а також інші техногенні радіонукліди можуть бути для людства не меншою, а навіть більшою загрозою, ніж ушкоджуюча дія окремого ядерного вибуху.

Загрозу радіоактивного забруднення природного середовища можна було визначити за умови знання шляхів і розмірів можливого надходження радіонуклідів в організм людини. Але для цього необхідно вивчити фізико–хімічні закономірності поведінки радіонуклідів у природних середовищах, передусім у ґрунті, і визначити параметри їхнього переходу біологічними ланцюгами в сільськогосподарську продукцію.

Міграцію мінеральних елементів в об’єктах природного середовища вивчали десятки років і основні закономірності цього процесу були відомі.

Агрохімія, як наука, розвивалась з кінця ХІХ ст., але головним чином досліджували міграцію біологічно важливих елементів, що містяться у природному середовищі в макрокількостях.

Водночас серед продуктів поділу урану і плутонію – основних видів ядерного палива виявилась ціла низка зовсім не вивчених компонентів, що надходили в ґрунт в ультрамікрокількостях. У 50 – 60-х роках ХХ ст. практично була відсутня інформація про безпосередню дію іонізуючого опромінення у процесі накопичення радіоактивних речовин рослинами. Те, що забруднення зовнішнього середовища штучними радіонуклідами небезпечне для всього живого, і насамперед, для людини, було відомо. Але якими є розміри загрози, допустимі рівні вмісту радіонуклідів у зовнішньому середовищі, чи можна відвернути або зменшити їх надходження в сільськогосподарські рослини, організм тварин? На ці питання ще потрібно було відповісти. В цих умовах за ініціативою керівника Атомного проекту СРСР, академіка АН СРСР І.В.Курчатова на базі кафедри агрохімії Московської сільськогосподарської академії ім. К.А.Тімірязєва в жовтні 1947 року була створена науково–дослідна біофізична лабораторія (БФЛ). Очолив її учень і послідовник академіка Д.М.Прянішнікова доцент кафедри агрономічної і біологічної хімії академії Всеволод Маврікійович Клечковський. У списку дослідників атомної проблеми ім'я В.М.Клечковського можна віднести до розробки методології і використання методу мічених атомів в агрохімії і біохімії, створення і розвитку радіоекології і агрохімії радіоактивних продуктів поділу.

Академік ВАСГНІЛ В.М.Клечковський є засновником загальної і сільськогосподарської радіоекології в СРСР. З позиції сучасного періоду розвитку сільськогосподарської радіоекології це ім'я стоїть на вершині піраміди. Започатковуючи цей напрям досліджень він уже тоді передбачав, що „...в условиях предстоящего широкого использования атомной энергии могут иметь место и другие причины, приводящие к распространению радиоактивных веществ из группы продуктов деления в природе” [5].

Узагальнені результати досліджень біофізичної лабораторії дали змогу В.М.Клечковському зробити висновок про те, що з агрономічного погляду найважливішою проблемою для оцінки значення того підвищення рівня радіоактивності, що може бути результатом розповсюдження продуктів поділу, є не стільки можливість безпосереднього променевого ураження рослин, а навпаки – накопичення в рослинах радіоактивних речовин і забруднення у такий спосіб сільськогосподарських продуктів.

Отже, перша наукова організація сільськогосподарської радіоекології була створена у 1947 році в Московській сільськогосподарській академії ім.К.А.Тімірязева – науково–дослідна біофізична лабораторія на чолі з В.М. Клечковським, а результати її досліджень можна вважати початком розвитку нового напрямку науки – сільськогосподарської радіоекології.

1.4.1 Заснування загальної радіоекології – нового перспективного наукового напрямку

Історія виникнення і розвитку радіоекології в Україні невіддільна від загальної історії світової науки взагалі і колишнього СРСР зокрема. Саме тому важливо послідовно висвітлити основні віхи виникнення і розвитку вітчизняної радіоекології - від перших відкриттів фізики, основоположних учень В.І.Вернадського і В.Н.Сукачова, М.В.Тимофєєва–Ресовського і В.М.Клечковського, до сучасних радіоекологічних досліджень, виконаних у зонах радіонуклідного забруднення України.

Перший період. Самостійний напрям радіобіології - радіоекологія, що вивчає концентрації і міграцію радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища та вплив на живі організми, став формуватися у 20–30–х роках минулого століття. Започаткував радіоекологічні дослідження В.І.Вернадський (1863–1945), видатний біогеохімік і радіогеолог, один з організаторів Української академії наук та її перший Президент. Розроблене ним учення про живу речовину і біосферу Землі мало велике наукове значення [78]. Крім цього, ним були виконані перші експериментальні

радіоекологічні дослідження з виявлення закономірностей накопичення радіо живими організмами [79]. Ідея про організованість біосфери одержала розвиток у працях В.Н.Сукачова щодо біогеоценозів як елементарних одиниць біосфери [80].

В основу вчення про біогеохімію ландшафтів Б.Б.Полинова і О.П.Виноградова покладена оцінка результатів геохімічної діяльності живих організмів [81, 82].

Радіоекологічні дослідження цього періоду були спрямовані на оцінку міграції в зовнішньому середовищі урану, торію, радію і продуктів їхнього розпаду при використанні біогеохімічного методу пошуку уранових руд.

Наукові дослідження геохімічної школи В.І.Вернадського, А.Е.Ферсмана, О.П.Виноградова чітко довели, що природні радіонукліди можуть проникати через біологічні мембрани рослин і тварин і накопичуватися та навіть концентруватися в окремих тканинах. Накопичення радіонуклідів визначає внутрішнє опромінення біологічних об'єктів. У міру розширення досліджень з вивчення явища радіоактивності і збільшення добування природних радіонуклідів представники шкіл академіків В.І.Вернадського, А.Е.Ферсмана, О.П.Виноградова почали активно розвивати біогеохімічні методи розвідування рудних копалин, які дають змогу оперативної і дешево виявляти локалізацію рудних елементів. Дослідженнями професорів А.І.Перельмана, Д.П.Малюги і Б.Б.Полинова був обґрунтований метод біогеохімічних індикаторів, в основі якого лежить специфічна здатність окремих видів рослин, водоростей, тварин вибірково накопичувати різні елементи, зокрема і природні радіонукліди.

Отже, завдяки розвитку біогеохімії почалося вивчення міграції мінеральних елементів у біологічних ланцюгах. У кінці 20-х – на початку 30-х років ХХ ст. академік В.І.Вернадський виявив основні залежності накопичення радію прісноводними і наземними організмами [79]. Під його керівництвом були виконані перші роботи з накопичення природних радіоактивних елементів у рослинах і тваринах, їх міграції в довкіллі та

дослідження біологічної дії випромінювань інкорпорованих радіоактивних речовин.

Радіоекологія як самостійний науковий напрям формувався у міру того, як радіоактивні речовини та їх випромінювання стали перетворюватися на безперервно зростаючий фактор негативної дії на зовнішнє середовище. Тому радіоекологія на початкових етапах розглядалась як новий розділ радіобіології, що вивчає радіобіологічні явища на рівні складних природних комплексів – біогеоценозів. За визначенням учених основне завдання радіоекології зводиться загалом до вивчення поведінки і біологічної дії штучних і природних радіонуклідів у різних біогеоценозах [83, 33, 82-85]. Умовно можна казати, що **це був перший період становлення радіоекології.**

Другий період. З початку 50–х років починається другий період розвитку радіоекології. Саме в цей період розпочався активний розвиток атомної промисловості, інтенсивніше велися випробування ядерної зброї, були побудовані перші атомні електростанції [95]. Все це сприяло підвищенню радіаційного фону Землі за рахунок техногенної компоненти. У біосферу надійшла велика кількість штучних радіонуклідів, внаслідок чого виникло додаткове (до природного фонового) опромінення рослин, тварин і людини. В цей період у різних країнах були розпочаті широкомасштабні дослідження перенесення радіонуклідів харчовими ланцюгами і накопичення їх у живих організмах. Світовій громадськості стало ясно, що фактично сформувався новий глобально діючий екологічний фактор – штучні радіонукліди і породжуване ним іонізуюче випромінювання. Усвідомлення важливості проблеми взаємодії живих організмів один з одним і середовищем існування в умовах радіоактивного забруднення і підвищеного фону радіації поступово привело до створення нової дисципліни – радіоекології. Слід підкреслити, що назва, постановка основної мети і завдань з'явилися практично одночасно в 1956 році незалежно один від одного в роботах російських дослідників В.М.Клечковського,

М.В.Тимофєєва–Ресовського, А.М.Кузіна і О.О.Передельського [86, 83, 5] і американських Є.Одума і П.Плетта [87, 88].

Оскільки на нашій планеті панує Світовий океан, важливе значення надавалось дослідженням поведінки радіонуклідів, процесів їх накопичення, міграції у гідробіосистемах. У 1956 році були розпочаті системні дослідження на Севастопольській біологічній станції ім. А.О.Ковалевського АН СРСР, яка була в 1963 році реорганізована в Інститут біології південних морів АН УРСР. Саме тут виникла *морська радіоекологія* – новий напрям радіоекології.

Засновником лабораторії, а потім відділу радіобіології був Г.Г.Полікарпов. Виконані під його керівництвом дослідження [88–92, 121, 162–164, 282–284] одержали визнання як у СРСР, так і за кордоном. Перше велике узагальнення досліджень з радіоекології водних організмів, що стосується морських біогеоценозів, було зроблене Г.Г.Полікарповим в 1964 році в монографії „Радиоэкология морских организмов” [89] і в 1966 році в розширеному і доповненому виданні англійською мовою „Радиоэкология водных организмов” [90]. У 1970 році за редакцією Г.Г.Полікарпова видана колективна монографія „Морська радіоекологія” [91].

Про авторитет ученого свідчить той факт, що у 1975 році його було запрошено в Міжнародну лабораторію морської радіоактивності МАГАТЕ в Монако керівником секції вивчення зовнішнього середовища. Тут він працював до 1979 року. За цей час ним сформульовано уявлення про зональність прояву ефектів хронічного опромінення різною потужністю дози від підфонового до летального значення на рівні екосистем. З 1986 року діяльність Г.Г.Полікарпова як голови з водної радіоекології комісії експертів-радіоекологів при Президії АН УРСР значною мірою сприяла організації регіонального моніторингу, прогнозуванню і розробці заходів зі зменшення міграції та забруднення водних об'єктів від Прип'яті до Чорного моря.

Результати наукових досліджень співробітників Інституту південних морів НАН України, починаючи з 1950 років ХХ ст., як зазначалось вище,

сприяли виникненню, розвитку і утвердженню нового напрямку радіоекології – морської радіоекології. Завдяки зусиллям морських радіоекологів Севастополя у 1963 році було підписано Московський договір про заборону ядерних вибухів в атмосфері, під водою і в космосі. Сьогодні Інститут біології південних морів НАН України є визнаним міжнародним науковим центром морської радіоекології і нове покоління дослідників продовжує і примножує славні наукові традиції минулих поколінь учених.

Слід також зазначити, що трохи пізніше в Інституті гідробіології АН УРСР (м.Київ) були розгорнуті дослідження поведінки радіонуклідів у прісноводних водоймах, переважно в басейні Дніпра. Дослідження співробітників цього інституту сприяли становленню і розвитку загальної водної радіоекології в Україні. Колектив науковців вніс значний вклад у розвиток і становлення вітчизняної радіоекології.

Все вищевикладене свідчить, що історія становлення і розвитку загальної радіоекології в Україні - невід'ємна від загальної історії світової науки взагалі і колишнього Радянського Союзу зокрема. Цей напрям науки виник у результаті розвитку класичної радіобіології – теоретичної основи радіоекології, яку започаткував В.І. Вернадський.

1.4.2 Становлення і розвиток сільськогосподарської радіоекології в СРСР.

Значення радіоекології – науки про розповсюдження і поведінку радіонуклідів у біогеосфері зростала з кожним новим вибухом атомних зарядів у військових чи народногосподарських інтересах, з кожною новою аварійною ситуацією на підприємствах атомної промисловості. У середині ХХ ст. стало зрозумілим, що розсіяні в зовнішньому середовищі продукти поділу ядерного палива, а також інші техногенні радіонукліди можуть бути для людства не меншою, а навіть більшою загрозою, ніж ушкоджуюча дія окремого ядерного вибуху.

Загрозу радіоактивного забруднення природного середовища можна було визначити за умови знання шляхів і розмірів можливого надходження радіонуклідів в організм людини. Але для цього необхідно вивчити фізико-хімічні закономірності поведінки радіонуклідів у природних середовищах, передусім у ґрунті, і визначити параметри їхнього переходу біологічними ланцюгами в сільськогосподарську продукцію.

Міграцію мінеральних елементів в об'єктах природного середовища вивчали десятки років і основні закономірності цього процесу були відомі. Агрохімія, як наука, розвивалась з кінця ХІХ ст., але головним чином досліджували міграцію біологічно важливих елементів, що містяться у природному середовищі в макрокількостях.

Водночас серед продуктів поділу урану і плутонію – основних видів ядерного палива виявилась ціла низка зовсім не вивчених компонентів, що надходили в ґрунт в ультрамікрокількостях. У 50 – 60-х роках ХХ ст. практично була відсутня інформація про безпосередню дію іонізуючого опромінення у процесі накопичення радіоактивних речовин рослинами. Те, що забруднення зовнішнього середовища штучними радіонуклідами небезпечне для всього живого, і насамперед, для людини, було відомо. Але якими є розміри загрози, допустимі рівні вмісту радіонуклідів у зовнішньому середовищі, чи можна відвернути або зменшити їх надходження в сільськогосподарські рослини, організм тварин? На ці питання ще потрібно було відповісти. В цих умовах за ініціативою керівника Атомного проекту СРСР, академіка АН СРСР І.В.Курчатова на базі кафедри агрохімії Московської сільськогосподарської академії ім. К.А.Тімірязева в жовтні 1947 року була створена науково-дослідна біофізична лабораторія (БФЛ). Очолив її учень і послідовник академіка Д.М.Прянішнікова доцент кафедри агрономічної і біологічної хімії академії Всеволод Маврікійович Клечковський. У списку дослідників атомної проблеми ім'я В.М.Клечковського можна віднести до розробки методології і використання

методу мічених атомів в агрохімії і біохімії, створення і розвитку радіоекології і агрохімії радіоактивних продуктів поділу.

Академік ВАСГНІЛ В.М.Клечковський є засновником загальної і сільськогосподарської радіоекології в СРСР. З позиції сучасного періоду розвитку сільськогосподарської радіоекології це ім'я стоїть на вершині піраміди. Започатковуючи цей напрям досліджень він уже тоді передбачав, що „...в условиях предстоящего широкого использования атомной энергии могут иметь место и другие причины, приводящие к распространению радиоактивных веществ из группы продуктов деления в природе” [5]. Узагальнені результати досліджень біофізичної лабораторії дали змогу В.М.Клечковському зробити висновок про те, що з агрономічного погляду найважливішою проблемою для оцінки значення того підвищення рівня радіоактивності, що може бути результатом розповсюдження продуктів поділу, є не стільки можливість безпосереднього променевого ураження рослин, а навпаки – накопичення в рослинах радіоактивних речовин і забруднення у такий спосіб сільськогосподарських продуктів.

Отже, перша наукова організація сільськогосподарської радіоекології була створена у 1947 році в Московській сільськогосподарській академії ім.К.А.Тімірязева – науково–дослідна біофізична лабораторія на чолі з В.М. Клечковським, а результати її досліджень можна вважати початком розвитку нового напрямку науки – сільськогосподарської радіоекології.

1.4.3. Формування наукових шкіл академіка ВАСГНІЛ В.М. Клечковського і професора М.В. Тимофєєва-Ресовського.

Відомо, що формування і перші етапи розвитку будь–якої наукової дисципліни неможливі без творчості особистостей. В радіоекології такими видатними постатями, фактично засновниками цієї науки, стали два представники: В.М.Клечковський і М.В.Тимофєєв–Ресовський. Вони є основоположниками двох шкіл. Принципових протиріч між лідерами не було, навпаки було багато спільного, що об'єднувало їх як учених, наукова

творчість яких протягом чверті століття (1950–1975) не тільки заклала фундамент радіоекології взагалі і сільськогосподарської зокрема, а і визначила магістральні шляхи їх розвитку.

Під керівництвом В.М.Клечковського колективи вели дослідження в умовах секретності на великих забруднених полігонах. А під керівництвом М.В. Тимофєєва-Ресовського розвивались переважно фундаментальні аспекти радіоекології, дослідження велись в основному в експериментальних умовах і результати публікували у відкритій науковій пресі. У таких протилежних умовах формувались дві наукові школи.

Наукова школа академіка В.М.Клечковського

Всеволод Маврикійович Клечковський народився 28 листопада 1900 року. Отримавши в 1918 році середню освіту, він працював в Орловській губернії. В 1923 році став студентом відділення агрохімії і ґрунтознавства Московської сільськогосподарської академії ім. К.А.Тімірязєва. Світогляд В.М.Клечковського формувався під впливом поглядів В.Р.Вільямса, Д.М.Прянішнікова, М.Я.Дем'янова, В.П.Горячкіна, А.Н.Костякова та багатьох інших корифеїв науки, які працювали в стінах академії. У 1927 році за ініціативою Д.М.Прянішнікова в Тімірязєвській академії була створена кафедра агрохімії, на якій його залишили працювати після закінчення академії. Творчі інтереси і робота В.М.Клечковського в довоєнний період великою мірою визначали успіх у розробці програми досліджень з радіоекології в післявоєнні роки.

Історичні витоки формування наукової школи сільськогосподарської радіоекології починаються з 1947 року в першій науковій організації такого напрямку – науково–дослідній біофізичній лабораторії (БФЛ) Московської сільськогосподарської академії ім. К.А.Тімірязєва [92, 93].

Дослідження у БФЛ фактично були розпочаті з нуля. На той час співробітники лабораторії не мали відпрацьованих методик проведення експериментів з радіоактивними речовинами, дозиметричного і

радіометричного обладнання, не мали засобів захисту від іонізуючого опромінення. Незважаючи на це, дослідження розгорталися і велися відповідно до класичних традицій учення К.К.Гедройця про поглинаючу властивість ґрунтів і системи мінерального живлення сільськогосподарських рослин Д.М.Прянішнікова.

Основні напрями нових для сільськогосподарської науки досліджень очолили провідні учені Московської сільськогосподарської академії – Д.Д.Іваненко, О.Г.Шестаков, В.М.Клечковський, І.В.Гулякін. Група під керівництвом С.П.Целіщева розробляла методики і прилади для реєстрації іонізуючих випромінювань. Головним напрямом досліджень у цей початковий період було вивчення особливостей поведінки радіоактивних продуктів поділу в системі ґрунт – рослина.

На початку 50-х років у БФЛ започатковуються вегетаційні дослідження з вивчення особливостей накопичення рослинами радіонуклідів техногенного походження та дії іонізуючих випромінювань на сільськогосподарські культури. Перші дослідження з оцінки накопичення техногенних радіонуклідів рослинами виконували з нерозділеною сумішшю радіоактивних продуктів поділу і нуклідів з наведеною активністю, які утворились у дослідних ядерних реакторах, де розроблялись технології виробництва плутонію для озброєнь.

Уже в 1949–1951 роках вперше було показано, що радіоактивні продукти поділу здатні у великих кількостях накопичуватися в рослинах, не викликаючи видимих радіаційних уражень [94, 5, 95]. Внаслідок цього інкорпоровані в рослинах радіонукліди стали розглядати не тільки з позиції пригнічення росту і розвитку рослин та зниження їх урожайності, а головним чином як джерело радіоактивного забруднення рослинницької продукції, що веде до споживання радіонуклідів людиною з харчовими продуктами. Це був один із фундаментальних висновків. Тому велику увагу було приділено вивченню розподілу довгоживучих радіонуклідів (в основному стронцію-90 і цезію-137) в різних органах рослин залежно від фізико-хімічних

властивостей і концентрації радіонуклідів у ґрунті, характеристики ґрунтів, біологічних особливостей рослин і факторів зовнішнього середовища.

Дослідженнями у галузі ґрунтової хімії радіонуклідів [5, 91, 96] було доведено, що головним депо штучних радіонуклідів, що надходять у зовнішнє середовище, є ґрунт і поведінка радіонуклідів у ньому відповідає загальним закономірностям класичного вчення К.К.Гедройця про поглинаючу активність ґрунту. Але В.М.Клечковський зазначав, що поглинання радіонуклідів ґрунтами відбувається специфічно в умовах гранично низьких концентрацій адсорбованої речовини. Схеми процесів адсорбції іонів, що є в ґрунті в мікрокількостях, впливають із наявності кінцевого сорбційного об'єму ґрунтово–поглинального комплексу (ГПК), який послідовно заповнюється іонами, що витісняються. При цьому іони „конкурують” між собою за місця адсорбції. Радіонукліди потрапляють, як правило, без носіїв і в ґрунтовому розчині чи природних водах містяться в ультрамікроконцентраціях. В.М.Клечковський передбачив і експериментально довів, що кожна окрема, вільно взята частина іонів, що наявна в системі в мікрокількостях, у процесі поглинання не конкурує за місця на поверхні адсорбенту з будь-якою іншою частинкою таких самих іонів і молекул. Він запропонував розглядати процес поглинання ґрунтом окремих іонів або молекул одного із мікроелементів незалежно від наявності в системі інших мікрокомпонентів або іонів і молекул того самого компоненту. Специфічна особливість полягає в тому, що прояв цих залежностей однобічний: зміна кількості мікрокомпонента в системі здатна змінити розподіл мікрокомпонента, тоді як зміна кількості мікрокомпонента, по суті, не впливає на поведінку макрокомпонента. За даними В.М.Клечковського, І.В.Гулякіна, Г.Н.Целіщевої і Л.М.Соколової [5, 95, 97], при взаємодії іонів радіонуклідів з різними ґрунтами зберігаються всі основні закономірності обміну, а відмінності, що спостерігаються, мають кількісний характер. Разом з тим саме ці відмінності відіграють вирішальну роль у поведінці радіонуклідів у ґрунтах і при включенні їх у біологічні ланцюги в

природних умовах. Так, радіонукліди стронцію достатньо повно (до 98%) витісняються з ґрунту розчинами нейтральних солей хлористого калію, магнію, барію, що свідчить про обмінний характер сорбції. Водночас радіонукліди цирконію, рутенію, цезію витісняються із ґрунту значно менше, що пояснюється складнішою природою їхнього зв'язку з ґрунтом.

У подальших дослідженнях процесів взаємодії продуктів ядерного поділу з різними типами ґрунтів, виконаних І.В.Гулякіним і О.В.Юдинцевою, було встановлено, що характер та міцність сорбції, а відтак і швидкість міграції радіонуклідів по ґрунтовому профілю і їх доступність рослинам значною мірою визначається основними властивостями ґрунтів, у першу чергу – механічним і мінеральним складом, вмістом обмінних катіонів, органічної речовини, кислотністю ґрунтового розчину[96]. Було встановлено, що один і той радіонуклід поглинається ґрунтом у бік підвищення в такому порядку: дерново–підзолистий супіщаний --- дерново–підзолистий суглинистий --- чорнозем[5, 96]. Така послідовність зумовлена підвищенням об'єму поглинання, пов'язаного з вмістом гумусу, мулової фракції, мінералів групи монтморилоніту і гідросмол у складі високодисперсних глинистих мінералів, утворенням малорозчинних гуматів. Цими дослідженнями було також доведено, що властивість ґрунтів сорбувати і утримувати цезій–137 зумовлена глинистими мінералами, які мають прошаркову структуру кристалічної решітки.

Дослідження позакореневого (аерального) надходження радіонуклідів, виконані в БФЛ під керівництвом В.М.Клечковського, довели, що головними факторами є біологічні особливості рослин, їхній стан у момент попадання радіоактивних речовин на поверхню рослин – таких, як: фаза розвитку, густина, гідрофільність поверхневого листового покриву та ін. У процесі росту у рослин знижується концентрація радіоактивних речовин за рахунок змиву дощами, розбавлення в процесі приросту [5].

Дослідження закономірностей поведінки продуктів поділу урану в системі ґрунт–рослина у БФЛ В.М.Клечковський разом із І.В.Гулякіним,

О.В.Юдинцевою, А.Г.Шестаковим, С.П.Целіщевим, Н.В.Каширкіною проводили з 1947 року [5]. Цими дослідженнями доведено, що надходження радіоактивних продуктів поділу в рослини значною мірою визначаються їхніми фізико-хімічними властивостями. Із водного середовища найбільш активно поглинаються рослинами стронцій-90 і цезій-137 і в менших кількостях накопичуються в надземних органах рослин цезій-95, рубідій-106, які концентруються у кореневій системі. Радіонукліди, які надійшли в надземну частину, накопичуються в основному у вегетативних органах: відносно в невеликих кількостях акумулюються в генеративних органах.

Слід звернути увагу на той факт, що дослідженнями В.М.Клечковського, І.В.Гулякіна, О.В.Юдинцевої, М.П.Архипова в 1950–60-х роках [5, 97, 98] була встановлена оберненопропорційна залежність переходу стронцію-90 у рослини залежно від вмісту обмінного кальцію у ґрунтах. У результаті був запропонований показник Клечковського для кількісної оцінки розмірів накопичення стронцію-90 у рослинах. Цей показник враховував не тільки щільність забруднення ґрунтів цим радіонуклідом, а і вміст у них обмінного кальцію. До цього часу для прогнозу користувалися коефіцієнтом Фредеріксона, що враховував тільки щільність забруднення. При цьому допускалася помилка в кілька разів. Прогноз накопичення стронцію-90 за коефіцієнтом Клечковського на 95–98% визначав цей результат для ґрунтів різного рівня родючості.

Аналізуючи результати наукових досліджень, виконаних колективом БФЛ за перші 7–8 років після її організації, слід відзначити, що вони були проведені вперше не тільки в Радянському Союзі, а і в ряді випадків і вперше у світовій науці. Ці дослідження були високо оцінені. За комплекс робіт з агрохімії продуктів поділу провідним співробітникам В.М.Клечковському, І.В.Гулякіну, О.Г.Шестакову, С.П.Целіщеву у 1952 році була присуджена Сталінська премія. На жаль, наукова громадськість змогла ознайомитись з результатами цих масштабних досліджень в 1956 році, коли Академія наук СРСР у ротاپринтному виданні невеликим тиражем видала монографічну

роботу колективу співробітників БФЛ за редакцією В.М.Клечковського „О поведении радиоактивных продуктов деления в почвах, их поступлении в растения и накоплении в урожае” [5]. Це була перша відкрита робота, де були підбиті підсумки експериментальних досліджень з агрохімії радіоактивних продуктів поділу. Саме результати цих досліджень і стали передумовою формування нового наукового напрямку.

Слід підкреслити, що результати досліджень біофізичної лабораторії були представлені в Науковий комітет ООН з дії радіації. Це був значний внесок СРСР у прийняття в 1963 році мораторію на ядерні випробування. Праці з ізотопної агрохімії були представлені в 1955 і 1958 роках на Женевських конференціях щодо мирного використання атомної енергії, на міжнародній конференції ЮНЕСКО в 1957 році з використання ізотопів у наукових дослідженнях.

Через рік після публікації результатів роботи біофізичної лабораторії, якою керував В.М.Клечковський, сталася аварія на хімічному комбінаті „Маяк” Челябінської області біля м.Киштим. У результаті утворився радіоактивний слід, що одержав назву Східно–Уральського. Безперечно, що одержані в Біофізичній лабораторії наукові результати, практичний досвід, набутий за ці роки, пройшли ретельну перевірку та дали змогу В.М.Клечковському разом зі своїми учнями обґрунтувати засади забезпечення радіаційної безпеки населення вже в перші дні після аварії. За його ініціативою на хімічному комбінаті „Маяк” створюється **Дослідна наукова станція**, яка стала базою для широкого розвитку радіоекологічних досліджень.

Це була **друга наукова організація в СРСР**, де фактично утвердився новий напрям науки – сільськогосподарська радіоекологія [99, 100]. Першим директором дослідної станції був Г.А.Середа, а потім нею керували М.А.Корнєєв, Є.А.Федоров, Г.М.Романов. Незмінним науковим керівником і координатором робіт, що проводились на станції, був В.М.Клечковський.

Академік ВАСГНІЛ В.М. Ключковський доклав багато сил і енергії, щоб залучити для досліджень на станції спеціалістів суміжних наукових закладів. Це було необхідно для комплексного охоплення важливих напрямів досліджень, які зводились до розв'язання таких проблем:

- розподіл і міграція радіоактивних речовин у зовнішньому середовищі;
- надходження радіонуклідів у врожай сільськогосподарських культур і продукцію тваринництва;
- способи дезактивації ґрунтів;
- агрохімічні способи зниження надходження радіонуклідів у врожай;
- розробка способів очищення продукції, одержаної із забрудненої території;
- оцінка генетичних наслідків радіоактивного забруднення для флори і фауни;
- поведінка радіонуклідів у річкових і озерних екосистемах.

Фактично в цей час він упритул наблизився до розробки концепції сільськогосподарської радіоекології і формулювання основних завдань цього напрямку. Праці В.М.Ключковського і учнів його школи в цій галузі є основоположними. За 10–15 років досліджень на території Східно–Уральського радіоактивного сліду були закладені основи радіоекології як самостійної наукової дисципліни [101, 102, 103, 104]. Як учений–аграрник В.М.Ключковський звернув увагу на кругообіг радіонуклідів на забруднених сільськогосподарських угіддях. Розуміючи важливість багаторічних спостережень за міграцією радіонуклідів у зовнішньому середовищі і променевими ефектами в природі, академік В.М.Ключковський був одним з ініціаторів створення Східно–Уральського державного заповідника – першого в світі радіаційного заповідника такого типу. Він був створений Постановою Ради Міністрів РФСР 29 квітня 1966 року, загальною площею заповідної території – 16616 га [105].

На базі цього заповідника за ініціативою В.М.Клечковського були розгорнуті фундаментальні дослідження і комплекс робіт, основною метою яких було повернення забруднених територій в господарське користування. Роботи по реабілітації забруднених територій вимагали вивчення і наступного виконання широкого комплексу заходів, щоб знизити вміст радіоактивних речовин у сільськогосподарській продукції. Досліджувались різні способи спеціальної обробки ґрунтів, створювались нові комплекси сільськогосподарських машин, на великих площах проводилась меліорація забруднених луко–пасовищних угідь, вивчалась дія цілої системи захисту забруднених лісопокритих територій. На забруднених полях вирощували сільськогосподарські культури, що найменше накопичують радіонукліди. Як показує аналіз наукових праць [106, 107, 96, 99, 108] співробітників Дослідної станції, Східно-Уральського державного заповідника Л.Н.Соколова, А.В.Єгорова, Л.П. Марапучешна, Р.П.Пашкова, Е.В. Рябова, Т.С. Мішалкіна, В.А.Семенова, В.П. Костирьова, Н.Н.Самаріна, І.Г.Теплякова та інших учених під науковим керівництвом В.М.Клечковського в кінці 50-х на початку 60-х років комплексними дослідженнями одержані вихідні дані щодо вмісту радіонуклідів у різних ґрунтах, про надходження їх в урожай різних культур, по впливу мінеральних добрив. Були розроблені спеціальні технології вирощування і обробки сільськогосподарських культур та ін.. Світова практика не знала прикладів реабілітації техногенно забруднених територій в таких масштабах.

Висновок: Закладені В.М. Клечковським організаційні принципи наукових досліджень радіоекологічних проблем аграрного виробництва давали ефективні результати, широко впроваджувались учнями В.М. Клечковського Аналіз свідчить, що перші 4 роки роботи Дослідної станції завершилися виданням „Рекомендацій по веденню сільського и лесного хозяйства на территории с повышенной радиоактивностью”(М.: Колос, 1964). Це – перші рекомендації, які були схвалені Науково–технічною радою

Міністерства середнього машинобудування, під головуванням академіка АН СРСР А.П.Александрова.

У 1967 році в цьому регіоні ситуація ускладнилась внаслідок вітрового переносу радіонуклідів з берегової зони озера Карачай, яке використовувалось як природне сховище радіоактивних відходів ВО „Маяк” [109]. Ці обставини потребували оцінки рівня радіаційного впливу на новозабруднених територіях. Інтенсивно розроблялись методи контролю, що давало можливість прогнозувати щільність забруднення природних ділянок. Фактично це був природний полігон для виконання експериментів, аналогів якому в світі не було. Вперше тут було виконано масштабне картування забруднених територій (В.Л.Андронников) з геоботанічними дослідженнями А.Л.Кожевникової і Е.Г.Смирнова. В природних біогеоценозах був вивчений розподіл радіонуклідів у ґрунтах, залежно від комплексу умов (Б.С.Прістер, М.П.Архипов, А.В.Єгоров). Виконані фундаментальні дослідження [98] з агрохімії і вивчення форм стронцію-90 у ґрунтах (М.П.Архипов, А.В.Єгоров, В.Ф.Гольцев). У цей період були створені і впроваджені в практику нові високочутливі інструментальні методи кількісного визначення бетта- і гамма-випромінювачів в об'єктах зовнішнього середовища (Г.І.Антоненко), а також методи екологічної дозиметрії, принципи обліку радіаційних біологічних ефектів для багатьох видів рослин і тварин (Г.М.Романов, Ф.А.Тихомиров) [99, 110]. Така широкомасштабна організація досліджень дала позитивні результати. Вже через 5–6 років після аварії 83% забруднених територій Челябінської області були реабілітовані і передані для використання.

На основі робіт, виконаних на території Східно-Уральського радіаційного заповідника, у 1973 році були підготовлені „Рекомендации по ведению сельского хозяйства и лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения внешней среды”, які затвердило Міністерство сільського господарства СРСР, Міністерство охорони здоров'я СРСР і Держкомітет з використання атомної енергії. Це були, по суті, перші рекомендації щодо

реабілітації радіоактивно забруднених територій. у 1974 році за результатами цих досліджень групі учених у складі В.М.Клечковського, Р.М.Алексахіна, І.К.Дібобеса, І.Я.Панченка, О.П.Ковальова, Б.С.Прістера, Г.М.Романова, М.О.Семенова, Є.Н.Теверовського, І.О.Терновського, Є.А.Федорова була присуджена Державна премія СРСР.

У 1965–1975 роках проводились радіоекологічні дослідження з використанням гамма-випромінювача, який було споруджено на станції. Опромінювали природні екосистеми – ліси, луки. В результаті були описані особливості променевого ураження і післярадіаційного відновлення лісів у суворо контрольованих умовах і за точкової дозиметрії [107]. Виконані оригінальні дослідження [111] з впливу опромінення великими дозами молодих продуктів ядерного поділу. В результаті дана оцінка променевого ураження тварин і визначена їхня молочна і м'ясна продуктивність. Це дуже важливо для прийняття рішень в умовах аварійних ситуацій [112].

У кінці 70–х років ХХ ст. співробітники Дослідної станції спільно з ученими інших закладів виконали фундаментальні дослідження [99] поведінки в зовнішньому середовищі плутонію (Ф.І.Павлоцька, Т.О.Горяченкова, А.С.Воронов, А.С.Бакуров). Дослідження В.Соколова, Є.Федорова, Ф.Тихомирова, А.Ільєнка, Д.Криволуцького, А.Покаржевського, Д.Спіріна, Р.Пономарьова показали роль тварин і рослин у міграції радіонуклідів у природних екосистемах, виявили первинні зміни в популяціях різних видів рослин і тварин від дії радіації, а також вторинні ефекти пов'язані з порушенням біогеоценотичних зв'язків.

Дослідженнями Ф.А.Тихомирова, Р.М.Алексахіна, Р.М.Карабаня, Д.А.Спіріна, Н.Н.Мішенкова доведено, що у випадках масованих радіоактивних опадів ліси є критичними екосистемами. Вони акумулюють радіонукліди і формують найбільші дозові навантаження на людину. При цьому різні типи лісів мають велику утримувальну властивість щодо радіонуклідів, підвищену радіочутливість і повільне самоочищення наземної фітомаси [107]. Це уповільнює процеси кругообігу хімічних елементів і

створює умови для хронічного опромінення рослин і тварин, що мешкають у лісах [114, 99, 107, 113].

Одночасно з дослідями на рослинах на Дослідній станції проводились аналогічні дослідження і на тваринах. Вивчення закономірностей переходу стронцію-90 і цезію-137 із раціону в організм сільськогосподарських тварин, а відтак і харчові продукти (молоко, м'ясо, яйця) проводили А.М.Сироткін, Л.А.Булдаков і Б.М.Анненков, М.А.Корнєєв [115, 116, 100]. Було вивчено метаболізм найбільш значимих радіонуклідів в організмі сільськогосподарських тварин і птиці, оцінені джерела і шляхи їх надходження в організм, коефіцієнти переходу в ланцюгу ґрунт– корм – організм тварин – продукти тваринництва, способи зменшення переходу радіонуклідів в організм, розроблені принципи нормування вмісту радіонуклідів у трофічних ланцюгах і методи технологічної і кулінарної переробки тваринницької продукції.

На сам кінець слід зауважити, що соціально–економічні і політичні зміни, що відбулися на початку 90–х років минулого століття, в Радянському союзі, розпад СРСР негативно вплинули на організацію досліджень співробітників станції. У цей період роботи станції мали в основному узагальнюючий характер. У 1998 році було прийнято рішення про реорганізацію станції. Вона була введена до складу Центральної заводської лабораторії ВО „Маяк”, тобто звідки й почалася її історія. Підсумовуючи вищенаведені дані, діяльності академіка ВАСХНИЛ В.М. Ключковського і його школи можна зробити таке заключення..

Першим спеціальним науковим підрозділом сільськогосподарської радіоекології в СРСР стала створена в 1947 році у Московській сільськогосподарській академії ім. К.А. Тімірязєва науково–дослідна біофізична лабораторія (БФЛ) на чолі з В.М.Ключковським.

Після аварії на ВО „Маяк” у 1957 році утворився радіоактивний слід, що одержав назву Східно–Уральський. На хімічному комбінаті „Маяк” за ініціативою В.М. Ключковського створюється Дослідна наукова станція –

друга наукова організація в СРСР, що стала базою для широкого розвитку радіоекологічних досліджень і фактичного утворення нового напрямку науки – сільськогосподарської радіоекології. Радіоекологічна школа В.М.Клечковського формувалась на дослідженнях, виконаних у Біофізичній лабораторії і на забруднених територіях Східно–Уральського радіоактивного сліду. Основним науковим закладом, що забезпечував організацію і проведення досліджень, була Науково–дослідна станція, створена за ініціативою В.М.Клечковського, її багаторічного наукового керівника. Тут уже через 10 років сформувався колектив одностайців, що творчо і цілеспрямовано розв’язував проблеми аварії радіоактивно забруднених територій. Стрижень радіоекологічної школи В.М.Клечковського складали – М.А.Корнеєв, Є.А.Федоров, Р.М.Алексахін, Б.С.Прістер, Г.М.Романов, Б.М.Анєнков, М.П.Архипов, Ф.А.Тихомиров, М.А.Сироткін, А.В.Єгоров та багато інших учених. Усі вони стали відомими радіоекологами і своєю працею внесли вагомий внесок у розвиток сільськогосподарської радіоекології в СРСР.

Наукова школа М.В.Тимофєєва-Ресовського

Свої дослідження з радіоекології М.В.Тимофєєв–Ресовський розпочав у 1947 році в біологічній лабораторії „Б” оборонного підприємства п/с 0215 на Південному Уралі поблизу оз.Сунгуль у Челябінській області і продовжив у 1955 році в Інституті біології, нині Інститут екології рослин і тварин Уральського відділення РАН з експериментальною радіоекологічною базою поблизу оз.В.Міасово. Цей заклад є одним із відомих центрів, де до цього часу виконуються радіоекологічні дослідження і розвивають школу М.В.Тимофєєва–Ресовського [117].

Основна тематика робіт колективу М.В.Тимофєєва–Ресовського – екологічні дослідження міграції радіонуклідів у зовнішньому середовищі і дії іонізуючого випромінювання на живі організми в середовищі їх існування. В роботах [86, 118] вчений сформулював концепцію експериментальної

радіаційної біогеоценології, в якій запропонував розглядати радіоактивні ізотопи як „мічені” атоми, а іонізуюче випромінювання – як зручний і легко дозований фактор впливу на живі організми.

Розвиваючи цей напрям, він разом із співробітниками біологічної лабораторії «Б» М.В. Лучником, А.А.Титляною, Є.А.Тимофєєвою–Ресовською, Т.А.Порядковою, М.В.Куліковим, Г.І.Махоніною, С.А.Любимовою, Є.М.Преображенською, І.В.Молчановою, Є.Н.Сокуровою, М.Я.Чеботіною, Б.М.Агафоновим, В.Г.Куликовою, М.В.Макаровим, Є.Н.Караваєвою, П.І.Юшковим, О.О.Позолотіним, М.В.Царапкіним, С.В.Тарчевською, Л.Кальшиць, Е.А.Гильовою виконали численні дослідження з вивчення поведінки радіонуклідів у спрощених системах: ґрунт – розчин – рослина; вода – ґрунт – гідробіоти по оцінці біологічної дії іонізуючого випромінювання на живі організми. Це дало можливість класифікувати радіонукліди за типом їхньої поведінки в екосистемах і виділити фактори, що впливають на їх рухомість. У роботах цього періоду (50–60–і роки ХХ ст.) значне місце відведено дослідженням ролі живих організмів у накопиченні радіонуклідів і їх перерозподілі за основними компонентами біогеоценозів [119, 120, 32].

Уже в цей період для порівняння організмів за кількісними накопиченнями радіонуклідів використовувалось поняття – коефіцієнт накопичення. Було встановлено, що накопичення радіонуклідів перебуває у широких межах – як для окремих елементів, так і для різних видів організмів. Були виконані спеціальні дослідження на модельних співтовариствах наземних рослин, ґрунтових мікроорганізмах, прісноводних в умовах радіоактивного забруднення. Дослідження довели типові зміни в цих комплексах до порушень її видового складу і структури [121, 122, 123].

У період масових випробувань ядерної зброї, в 60–70–х роках минулого століття, головним напрямком досліджень М.В.Тимофєєва–Ресовського і його учнів було вивчення закономірностей міграції і розподілу глобальних радіоактивних опадів у різних природних екосистемах суші,

внутрішніх водойм і морів. Результати цих досліджень, їхнє узагальнення стали основою прогнозування наслідків радіоактивного забруднення біосфери, екологічного нормування цих забруднень у компонентах природного середовища, про що свідчать такі наукові праці [106, 124, 125, 126, 127].

У багаторічних дослідженнях співробітників лабораторії була виявлена і оцінена роль провідних фізико–хімічних і екологічних факторів середовища – таких, як видові особливості організмів, кислотність, світло, температура зовнішнього середовища, пора року та інших на поведінку антропогенних радіонуклідів у різних екосистемах [128-133]. Слід також підкреслити, що велику увагу було приділено дослідженню радіочутливості і радіопатології живих організмів. Хоч це і завдання радіобіології, але говорячи про ці дослідження, ми хочемо підкреслити їх значення для радіоекології. У роботах [134-137] висвітлені результати досліджень радіочутливості основних лісоутворювальних порід Уральського регіону з урахуванням типів внутрішньовидової змінності організмів, а також впливу біогенних і абіогенних факторів середовища. Після закриття біофізичної станції „Міасово” в 1979 році дослідження велись у напрямі впливу атомної енергетики на зовнішнє середовище, яка активно тоді розвивалась. Це стосувалось і проблем видобутку ядерного палива, і експлуатації атомних електростанцій.

У 30–кілометровій зоні Білоярської АЕС досліджували наземні і водні екосистеми. Справа в тім, що за період експлуатації станції у водойму–охолоджувач потрапило орієнтовно 125 ГБк стронцію–90 і 670 ГБк цезію–137, значна частина яких депонована в донних відкладеннях, а також 16 ГБк тритію, який практично повністю залишається у воді. Тому знання зон накопичення штучних радіонуклідів, ролі живих організмів у таких екосистемах, їхнього впливу на розподіл радіонуклідів та інші питання мали велике значення для безпечної експлуатації атомних станцій. У результаті цих досліджень були встановлені зони підвищеного накопичення штучних

радіонуклідів, доведено, що живі організми є активними і важливими компонентами екосистеми і впливають на процеси перерозподілу радіонуклідів. Як індикатор радіонуклідного забруднення використовували види з високим ступенем накопичення. Було доведено, що аерозольні викиди АЕС не істотно впливають на забруднення штучними радіонуклідами наземних екосистем, але найбільший вплив станції був на прилеглу болотно-річкову екосистему, в яку тривалий час надходили стічні води станції [138-142]. Заслуговують на увагу дослідження в районі покладів уранової руди. Доведено, що забруднення формується аеральним шляхом за рахунок вивітрювання гірських порід, а дозове навантаження на живі організми визначається в основному зовнішнім гамма-фоном. При цьому були виділені генерації рослин з підвищеною життєздатністю і радіочутливістю, які сформувалися в умовах радіоактивного забруднення [143, 144].

Підсумовуючи слід відзначити, що творчості М.В.Тимофєєва-Ресовського притаманий широкий фундаментальний розмах. Він розглядав радіаційну біогеоценологію (радіаційну екологію), виходячи з учення і термінології академіка В.М.Сукачова [80], як галузь природничого знання, що вивчає роль такого важливого екологічного фактора, як іонізуюче випромінювання. При цьому в оцінці міграції радіонуклідів у зовнішньому середовищі і дії іонізуючих випромінювань на біосферу він спирався на науковий доробок видатних учених, – таких, як – В.І.Вернадський, В.В.Докучаєв, Г.Ф.Морозов, Б.Б.Полинов [145].

Саме в ті роки почала формуватися наукова школа радіаційної біогеоценології. Наукова діяльність поставила М.В.Тимофєєва-Ресовського в ряд таких видатних учених, як В.І.Вернадський, В.Г.Хлопін, А.П.Виноградов, чії імена пов'язані з розв'язанням проблем атомної промисловості і енергетики, охорони навколишнього середовища від дії радіаційного фактора.

1.5 Розвиток сільськогосподарської радіоекології в Україні після аварії на Чорнобильській АЕС

1.5.1 Оцінка радіаційної ситуації.

Аварія на 4 блоці Чорнобильської АЕС сталася о 01 годині 25 хвилині 26 квітня 1986 року внаслідок двох вибухів, які зруйнували і відкрили активну зону і цим повністю зробили неефективними всі системи безпеки. В реакторі 4 блоку станції містилось більше 1 мільярда кюрі (1×10^{19} Беккерель) радіонуклідів, значна частина яких короткоживучі з періодом розпаду від секунд до хвилин. У результаті за 12 діб активної фази викиду радіоактивних речовин в атмосферу надійшло майже 4% від загальної їх кількості. В основному це були радіоактивний йод, цезій, стронцій, плутоній та інші ізотопи [146, 147, 148, 149, 150, 151]. Характерною особливістю аварії було те, що в момент вибухів температура палива досягала $1600 - 1800^\circ \text{C}$, шматки графіту і палива, що вилетіли, потрапили на дахи та приміщення і спричинили численні пожежі. Горіння графіту у відкритій активній зоні створило високий стовбур гарячого повітря, який піднімав радіоактивні речовини більш ніж на 1000 м. За такої висоти вони могли переноситися на великі відстані. Ці обставини та супутня зміна метеорологічних умов призвели до складної картини забруднення значних територій.

Масштаб Чорнобильської катастрофи, найбільшої техногенної катастрофи, добре відомий і вченим, і політикам, і громадському загалу. Верховна Рада СРСР постановою від 25 квітня 1990 [152] аварію на ЧАЕС за сукупністю наслідків визнала найбільшою катастрофою сучасності, загальнонародним лихом, що торкнулося долі мільйонів людей, які проживають на величезних територіях. Внаслідок аварії забрудненню підпали більше 5 млн гектарів земель, на яких виробляється продукція і проживає близько 3 млн людей. У перші роки після аварії припинено ведення вівчарства, хмелярства та льонарства в Українському Поліссі.

26 квітня 1986 року у Прип'ять прибула перша міжвідомча бригада спеціалістів Міненерго, Мінохорони здоров'я, Міноборони СРСР, яка одразу

розпочала обстеження радіаційної обстановки. Наприкінці того самого дня у Прип'яті рівень радіації становив 14–30 мР/ год, а вранці 27 квітня – 180–500 мР/год. Надвечір 27 квітня рівень радіації різко зріс, сягнувши у різних районах міста 400–1000 мР/год, а в окремих місцях – до 1,5 Р/год.

З метою поліпшення робіт з радіаційного контролю 29 квітня 1986 року було ухвалено рішення покласти обов'язки щодо забезпечення радіаційного контролю у найближчій 10–кілометровій зоні на начальника хімічних військ Міноборони СРСР, а за її межами – на голову Держкомгідромету СРСР [153].

За межами ближньої 10–кілометрової зони найбільші рівні радіації у перші дні зафіксовано мережею спостереження та авіаційними засобами Держкомгідромету СРСР на частині території Київської та Житомирської областей УРСР, Гомельської та Могильовської областей БРСР, Брянської, Тульської, Калузької та Орловської областей РФСР. Перша карта забруднення була подана в Урядову комісію 3 травня 1986 року. За результатами авіаційних зйомок з 30 квітня по 7 травня 1986 року було складено карту рівнів радіації для всієї Європейської території країни [151]. Результати щоденних авіаційних зйомок та вимірів було покладено в основу узагальнюючої карти потужності експозиційної дози (ПЕД) гамма-випромінювання, підготовленої до 10 травня 1986 року. Ця карта стала базовою для проведення евакуації населення. Перші карти щільності радіоактивного забруднення території цезієм–137, стронцієм–90 та плутонієм–139, 140 спеціалісти відомств СРСР (Держкомгідромет, Міноборони, Мінохорони здоров'я, АН СРСР, АН УРСР, АН БРСР) виготовили до липня–серпня 1986 року. До травня 1989 року вони вважалися таємними і використовувались лише державними органами для ухвали рішень. У травні 1989 року їх було розсекречено, опубліковано у газетах, окремими брошурами для ознайомлення широких верств населення. Відомості 1986 року залишилися переважно незмінними і після уточнень, зроблених у 1987–1990 рр. [149, 150]. У табл. 1 наводяться дані

радіоактивного забруднення території Європи внаслідок аварії на ЧАЕС [151]. Ці дані свідчать, що щільність забруднення цезієм-137 вище 1480 кБк/м² зафіксовано в Білорусі на площі 2,6 тис.км², Україні – 0,56 і Росії – 0,46 тис.км², але рівень радіоактивного забруднення більше 40 кБк/м² був перевищений у багатьох країнах Європи.

Таблиця 1 [154]

Території, забруднені цезієм-137, тис.км² (кБк/км²)

Країни	Площа тис. км ²	Щільність забруднення, кБк/м ²					Разом, тис.км ²
		40- 100	100- 185	185- 555	555- 1480	> 1480	
Україна	600	29	4,3	3,6	0,73	0,56	38,2
Росія (Європ. част.)	3800	44	7,2	5,9	2,2	0,46	59,8
Білорусь	210	21	8,7	9,4	4,4	2,6	46,1
Австрія	84	11	0,08	–	–	–	11,1
Велика Британія	240	0,09	0,04	0,03	–	–	0,2
Німеччина	350	0,32	–	–	–	–	0,3
Греція	130	1,2	0,04	–	–	–	1,2
Італія	280	1,3	0,05	–	–	–	1,4
Норвегія	320	7,1	0,08	–	–	–	7,2
Польща	310	0,52	–	–	–	–	0,5
Румунія	240	1,2	–	–	–	–	1,2
Словенія	20	0,61	–	–	–	–	0,6
Фінляндія	340	19	–	–	–	–	19,0
Чехія	79	0,21	–	–	–	–	0,2
Швейцарія	41	0,73	–	–	–	–	0,7
Швеція	450	23	0,44	–	–	–	23,4
Разом	7494	160,3	20,9	18,9	7,3	3,6	211,1

Цезій-137, що випав на Європейську територію, міститься в основному на території Білорусі (23%), Росії (30%) і України (18%). Масштаби забруднення територій свідчать про глобальну техногенну

катастрофу ХХ ст. Аварія стала світовим лихом, яке охопило сотні тисяч людей, а її наслідки і до цього часу все ще мають безпосередній вплив на людей.

У результаті оцінки радіаційної ситуації, що склалася на території України після аварії, було встановлено три напрями радіоактивних опадів: західний, північний і південний.

Західний слід пройшов по півночі Київської, Житомирської, Рівненської, Волинської областей, досяг території Польщі, а потім повернув у напрямі Скандинавських країн. Північний слід відзначився на території Чернігівської області, ряді областей Білорусі і Росії. Південний сформувався в перших числах травня 1986 року в напрямі Київ – Умань – Одеса, а далі пішов за межі СРСР. У зонах опадів радіонуклідів були встановлені досить суттєві різниці у кількісних співвідношеннях основних дозоутворюючих ізотопів. У північних і західних областях у випадках переважали радіонукліди йоду і цезію. Співвідношення довгоживучих радіоізотопів цезію і стронцію становило в середньому 8:10. Південний слід містив стронцій і цезій у співвідношенні в середньому 1:1.

Характерною особливістю чорнобильських опадів є їх плямистість. Цей фактор зумовив розбіжність даних, одержаних за методом аерокартографування рівнів забруднення сільськогосподарських угідь цезієм-137, яка в двох точках на відстані 50 м одна від одної сягала десятка і більше разів. Тому необхідна була детальна об'єктивна картина рівнів забруднення території. Раціональне ведення виробництва на забруднених територіях, виважені і професійні рішення можливі тільки за умови достовірної і достатньо детальної оцінки фактичної щільності забруднення ґрунтів на кожному полі, сінокосі, пасовищі. Під час аварій такого масштабу первинним і головним завданням є тотальне радіологічне обстеження і складання карт забруднення сільськогосподарських угідь.

Одне з основних завдань сільськогосподарської радіоекології, яке необхідно вирішувати з перших днів попадання радіоактивних речовин в

атмосферу – оперативно дати радіологічну оцінку ситуації, ступеня забруднення навколишнього середовища, провести районування території за щільністю забруднення (передусім сільськогосподарських угідь). Це необхідно для прийняття виважених рішень щодо захисту населення, ведення сільськогосподарського виробництва, планування контрзаходів, прогнозування забруднення агропродовольчої продукції.

Роботи з уточнення щільності забруднення сільськогосподарських угідь навколо станції розпочалися з перших днів аварії. Моніторинг і картування забрудненої території проводили з використанням геофізичних методів – авіа–і приземної гамма–зйомки, а також шляхом масового відбору проб ґрунту на забрудненій території та наступним аналізом у лабораторіях науково–дослідних інститутів і вузів, підпорядкованих АН УРСР, Південному відділенню ВАСГНІЛ, Мінагропрому та інших відомств, методами гамма–спектрометрії і радіохімії [154, 155]. Це були трудомісткі методи, які потребували значних зусиль науковців і обслуговуючого персоналу. А головне, на першому етапі таких лабораторій було обмаль, треба було витратити час на їх організацію, оснащення, підготовку обслуговуючого персоналу. Крім цього, висока неоднорідність забруднення території змушувала проводити роботу з деталізації забруднення поетапно до 1988 – 1989 років.

Вивченням радіаційної ситуації та інших питань займалися відповідні міністерства і відомства: в 10 і 30-кілометровій зоні – Міноборони СРСР, Держгідромет СРСР, Держгідромет УРСР, Держагропром УРСР. На більш віддалених територіях роботу здійснювали спеціалісти наукових установ Держгідромету СРСР, Держкомгідромету УРСР, Міністерства охорони здоров'я СРСР, УРСР, Держагропрому УРСР, Академії наук СРСР і УРСР та Південного Відділення ВАСГНІЛ [147, 148].

За даними авторів [154], спеціалістами агрохімслужби Мінсільгосппроду УРСР під науковим керівництвом учених Українського філіалу Всесоюзного НДІ сільськогосподарської радіології (УФ ВНДІСГР) у

1986 – 1987 роках з використанням гамма-зйомки та відбору проб ґрунтів із наступним їх гамма-спектрометричним і радіохімічним аналізом, були обстежені сільгоспугіддя найбільш забруднених районів Київської області (Поліський, Іванківський, Чорнобильський, Вишгородський, Обухівський) і Житомирської (Народицький і Овруцький). Але „нестача вимірювальної апаратури, кваліфікованого персоналу, величезні масштаби радіоактивного забруднення та його строкатість навіть на рівні одного поля не давали змоги оперативно одержувати інформацію про щільність забруднення сільськогосподарських угідь у перші роки після аварії з необхідною просторовою деталізацією для потреб сільського господарства” [155]. Тому масштаб таких карт був недостатній для потреб сільськогосподарського виробництва. Потрібна була нова методика виміру рівнів забруднення. І таку методику розробила група наукових співробітників Українського НДІ сільгоспрадіології. Цей метод не потребував трудомісткого відбору проб, їхньої підготовки, дорогих спектрометричних вимірів. Можна було одержати усереднену характеристику забруднення цезієм–137 окремої площі [156,157]. Уже у 1987 – 1988 роках за цією методикою комбінованої крокової гамма-зйомки польовими радіометрами агрохімслужба України під методичним супровідом учених Південного Відділення ВАСГНІЛ та УФНДІ сільськогосподарської радіології провела детальне обстеження ріллі, природних угідь, за даними якого були побудовані картограми забруднення полів, сінокосів і пасовищ кожного з більш ніж 8000 колективних господарств [158, 159]. Площі забруднення сільськогосподарських угідь за рівнями радіоактивного забруднення, типами ґрунтів і їх використанням наведено в табл. 2 [158]

Таблиця 2

Площі сільськогосподарських угідь, забруднені цезієм–137, тис га*

Область	Обстеже но угідь	Розподіл за щільністю забруднення, Кі/км ²						
		0,1	1-5	1-5 на тор фяни- ках	5-15	5-15 на тор фяни- ках	> 15	Зона відчу- ження
Вінницька	936,1	850,0	85,7	-	0,4	-	-	-
Волинська	244,0	228,4	15,4	10,2	0,2	-	-	-
Житомирська	1496,3	1116,8	270,3	34,2	62,0	9,3	20,2	0,7
Івано- Франківська	91,4	71,3	19,1	-	1,0	-	-	-
Київська	1528,8	1272,4	213,3	4,5	28,2	1,5	14,0	54,2
Рівненська	329,3	172,1	145,7	48,8	11,5	4,1	-	-
Сумська	313,8	301,3	12,2	0,6	0,3	0,1	-	-
Тернопільська	231,8	219,3	12,5	-	-	-	-	-
Черкаська	1325,9	1172,8	146,6	1,2	6,5	-	0,05	-
Чернівецька	97,5	74,5	22,7	-	0,3	-	-	-
Чернігівська	1833,7	1759,2	68,6	-	5,4	-	0,5	-
Разом	8401,6	7238,1	1012,1	99,5	115,8	15,0	35,6	54,9

Ще довго пам'ять Чорнобиля залишатиметься на 8,4 млн га забруднених угідь. Вище до аварійного рівня забруднення ґрунтів встановлено в 74 районах 11 областей України. Найбільш забрудненими як за щільністю, так і за площею виявилися території п'яти областей (Табл. 3 і 4) [160].

Таблиця 3.

Структура сільськогосподарських угідь областей України, забруднених цезієм–137 понад 37 кБк/м² (1986)

Область	Щільність забруднення ґрунтів понад 37 – 185 кБк/м ²				
	Загальна площа	Орна земля	Сінокоси, пасовища	Мінеральні ґрунти	Торф'яні ґрунти
Волинська	6,3	2,5	3,8	2,1	4,2
Житомирська	271,6	175,0	96,6	240,4	34,0
Рівненська	310,9	246,0	64,9	206,8	104,1
Чернігівська	68,8	37,9	30,9	68,8	–
Київська	206,9	154,5	52,4	208,1	4,5
Разом	864,5	615,9	248,6	726,1	146,8

Таблиця 4.

Структура сільськогосподарських угідь областей України,
забруднених цезієм–137 понад 185 кБк/ м² (1986)

Область	Щільність забруднення ґрунтів 185-555 кБк/ м ² , тис.га				
	Загальна площа	Орна земля	Сінокоси, пасовища	Мінеральні ґрунти	Торф'яні ґрунти
Волинська	0,2	0,13	0,07	0,2	–
Житомирська	42,7	26,7	15,6	36,3	6,4
Рівненська	10,7	3,5	7,2	6,9	3,8
Чернігівська	5,4	2,3	3,1	5,4	–
Київська	30,6	12,1	18,5	29,0	1,6
Разом	89,6	44,73	44,47	77,8	11,8

Таким чином, в результаті використання нової методики виміру рівнів забруднення одержано картограми забруднення полів у кожному господарстві, визначені угіддя, де можна проводити господарську діяльність з урахуванням реальної радіаційної ситуації, а найбільш забруднені землі

вивести із сільськогосподарського обігу. Але робота з уточнення радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь на цьому не закінчилась. До середини 1990 року ще не була точно визначена територія України, забруднена цезієм-137. Про це свідчать такі факти. В липні 1990 року керівництвом СРСР у ЮНЕСКО були надані офіційні дані щодо забруднення території України в таких цифрах: більше 40 Кі/км² – 640 км²; 15 – 40 Кі/км² – 820 км²; 5 – 15 Кі/км² – 1960 км². Міністерство сільського господарства України на той час мало в своєму розпорядженні показники приблизно удвічі вищі [161, 162].

В окремих областях радіаційну ситуацію почали вивчати значно пізніше. Про це свідчить лист Укргідромету від 15.09.1988 р. №12–19/407 ДСП першому заступнику Голови Держагропрому України О.М.Ткаченку, де вказано, що радіаційна ситуація у Рівненській області почала вивчатися „...в августe 1987 года и марте–августe 1988 года Укргідрометом проведено детальное изучение состояния радиационной обстановки в северных районах Ровенской области. Всего в 5 районах был обследован 251 населенный пункт (Владимирецкий – 60, Дубровицкий – 58, Заречненский – 49, Сарненский – 47, Рокитновский – 37). Выполнен гамма–спектрометрический анализ 696 проб почвы (Владимирецкий район – 124, Дубровицкий – 198, Заречненский – 152, Сарненский – 97, Рокитновский – 121)” [154].

Уточнення радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь по всій території України тривало в 1990 – 1993 роках. Були встановлені забруднення чорнобильськими опадами сільськогосподарських угідь у Волинській, Вінницькій, Івано–Франківській, Тернопільській, Сумській, Хмельницькій і Чернівецькій областях. Слід підкреслити, що в цей період велику увагу приділяли визначенню щільності забруднення і стронцієм-90. При цьому дистанційні методи не могли бути використані, оскільки мали розбіжність у даних. Тому ця робота виконувалась тільки шляхом відбору проб ґрунтів і на основі дорогих радіохімічних аналізів у спеціальних лабораторіях висококваліфікованими спеціалістами.

Необхідно зробити наголос на деяких особливостях аварії, які значно ускладнювали оцінку ситуації та тяжкість наслідків. За висновком відомих учених, ці особливості полягають у тому, що, по–перше, забрудненню підпали території з високою щільністю населення і розвинутим сільським господарством, а особливо скотарством [147], по–друге, що територія Полісся сформована на лучно–болотних і торф’яно–болотних ґрунтах, які характеризуються низькою здатністю зв’язувати радіонукліди [147], і, по–третє, аварія відбулася на початку пасовищного періоду, коли фактично був вичерпаний запас усіх кормів для худоби у населення і в колективних господарствах [163]. Вся худоба була виведена на пасовища або одержувала корми свіжоскошені, що були забруднені радіоактивними речовинами. Внаслідок цього худоба зазнала радіаційного впливу таких факторів: поверхневого забруднення і опромінення шкіряного покриву, інгаляційного надходження радіонуклідів з повітрям і внутрішнього (перорального) надходження ізотопів, що осіли на поверхні рослин та зовнішнього опромінення від радіоактивної хмари і радіонуклідів, що осіли на поверхні ґрунту. Ці особливості не були враховані в процесі оцінки радіаційної ситуації в перший період після аварії. Весна 1986 року була ранньою, а погодні умови давали змогу проводити весняно–польові роботи (передпосівну обробку ґрунту – оранку, дискування, боронування). За сухої погоди утворювалась велика кількість пилу, яка переносилась вітром на різні відстані, що було причиною вторинного забруднення угідь, а головне радіонукліди були розподілені в орному горизонті, тобто у верхньому тонкому шарі (1–2 см), а тому забруднений шар ґрунту перемішався з чистими глибокими шарами.

Рівні радіації над переораними ділянками зменшились, але вміст радіонуклідів на одиницю площі, тобто щільність забруднення ґрунту не зменшилась. Тому не можна було використати вже розроблені в процесі ліквідації наслідків аварії на Уралі (м.Киштим) рекомендації. Необхідно було розробляти нові методи та способи контрзаходів зі зменшення

коефіцієнтів переходу радіонуклідів у рослини. У процесі вивчення радіологічної ситуації було встановлено, що критичними ландшафтами є ліси, природні і культурні пасовища. Критичність угідь залежить і від типу ґрунту. Інтенсивність міграції радіонуклідів на дерново–підзолистих, піщаних і супіщаних, торф'яних, торф'яно–болотних ґрунтах значно вища порівняно з чорноземами. У цих ґрунтах дуже низький вміст глинистих мінералів, що визначають процеси необхідної сорбції цезію та його біологічну доступність. Тому проблема міграції радіонуклідів залежно від типу ґрунтів, розроблення способів зменшення коефіцієнтів переходу в рослини в різних ґрунтових умовах потребувала глибоких наукових досліджень. Разом з вивченням щільності забруднення сільськогосподарських угідь проводилась радіологічна оцінка кормових запасів та продукції тваринництва – молока, м'яса та іншої продукції. У перші 30–45 днів після аварії основний внесок у забруднення продукції тваринництва вніс йод–131, а потім цезій–134 і цезій–137.

Забруднення кормів у цей період було в основному за рахунок аерального надходження, тобто осіданням аерозолей на поверхню рослин. Але вже в кінці вегетаційного періоду картина змінилась. Аеральний шлях забруднення став незначним, на його частку припадало 10–25% загального вмісту радіонуклідів у рослинах [146]. Молоко і м'ясо великої рогатої худоби вироблені в цих умовах були найбільш забрудненими і становили основну частку дозових навантажень за рахунок їх споживання населенням. Тимчасові рекомендації, що розроблялись науковцями, базувались на попередніх розробках в основному на досвіді ліквідації наслідків аварії на Уралі. Стало ясно, що необхідно організувати глибокі, фундаментальні комплексні дослідження міграції радіонуклідів по харчових ланцюгах співвідносно умов чорнобильських викидів.

Радіаційна ситуація 1986 року вимагала жорсткого радіаційного контролю вироблених харчових продуктів [164, 165]. В перші місяці після аварії радіаційний контроль сільськогосподарської сировини та харчових

продуктів виконували працівники Держагропрому УРСР, пізніше (1989) був організований Республіканський комітет харчової та переробної промисловості України [164, 165]. У вересні 1986 року Держагропром України мав інформацію з усіх областей в розрізі районів про рівень забруднення зерна і кормів [154]. Перевищення допустимих рівнів (1×10^{-8} Кі/кг) на той час відмічалися у Київській, Житомирській, Чернігівській областях. У Волинській області була встановлена висока забрудненість сухого молока. Про це свідчать інформації Чернігівського і Житомирського обласних агропромислових комітетів та Волинського обласного об'єднання молочної промисловості [166]. Особливо високою була забрудненість молока в господарствах 30 контрольованих районів 5 областей України. На початку 1989 року найбільш забрудненими виявилися Народицький район Житомирської області. Рівні забруднення коливалися від 444 Бк/л до 3848 Бк/л [154].

Слід підкреслити, що основні трагічні події розгорталися на ближній до аварійного реактора території, яку пізніше було названо зоною відчуження. Рішенням Урядової комісії з населених пунктів цієї зони терміново було евакуйовано населення [167-169]. Ось як описує ці події академік УААН Б.С.Прістер „В ночь с 1 на 2 мая директор института биофизики МЗ СССР академик Л.А.Ильин (входящий в пятерку ведущих специалистов мира в области радиационной безопасности) и директор ВНИИАЭС профессор А.А.Абагян с коллегами выполнили расчеты возможных доз облучения населения на территории вокруг АЭС. Они пришли к выводу, что радиус зоны тотальной эвакуации населения должен быть установлен, по крайней мере, равным 30 км. Правительственная комиссия приняла решение в период с 18.00 2 мая по 19.00 3 мая эвакуировать население из 10 километровой зоны. Из нее вывезено около 10 тысяч человек (села Семиходы, Шепеличи, Копачи, на территории которых и сегодня можно находиться только ограниченное время, и где расположены опытные радиоэкологические участки для изучения воздействия

радиационных эффектов на растения). Затем началась эвакуация из 30-километровой зоны. 5 мая была закончена эвакуация населения из г.Чернобыля и эвакуировано 50 населенных пунктов из Гомельской области. В целом до конца 1986 года из 188 населенных пунктов было вывезено 116 тысяч человек. Менее 10% из них получили дозы, превышающие 50 мЗв, а менее 5 % – дозы свыше 100 мЗв” [146].

Після евакуації населення в цій зоні залишилися десятки тисяч тварин як громадського, так і приватного секторів. Розв’язання цих проблем у галузі тваринництва було покладено на Державну службу ветеринарної медицини, очолювану П.П.Достоевським. З 2 по 5 травня з 30-кілометрової зони було вивезено рогатої худоби 48 тис. голів, свиней – 13 тис., овець – 3,3 тис., коней – 0,7 тис. голів. Всю худобу населення (3,7 тис. голів) закуплено колгоспами та радгоспами [170]. Тварин розташували у літніх таборах Бородянського та Макарівського районів Київської області. Тут виконували ветеринарні вимоги щодо місячного карантинування, під час якого проводили дозиметричний контроль та дезактивацію шкіряного покриву тварин. У травні 1986 року під керівництвом спеціалістів Держагропрому УРСР та Київської області провели санітарне очищення приміщень і територій ферм. Підрозділи Міноборони СРСР здійснювали відловлення, а також відстріл бродячих сільськогосподарських тварин, собак, що залишилися після евакуації населення. Всього було утилізовано понад 20 тис. трупів тварин [154].

Вивчення радіаційної ситуації в перші місяці після аварії експертами Держагропрому СРСР дало змогу дійти дуже важливого висновку про те, що дози опромінення тварин не загрожують життю та здоров’ю людей і тварин, і не призведуть до розвитку променевої хвороби. Незважаючи на цю інформацію, з травня 1986 року тварин із забруднених районів Київської, Житомирської областей відправляли на забій і переробку на Житомирський, Новоград–Волинський і Коростенський м’ясокомбінати Житомирської області. Слід зазначити, що ще в 1973 році були затверджені „Рекомендации

по веденню сільського господарства при радіоактивному забрудненні оточуючої середовища”, які були розіслані керівникам кожного району колишнього Радянського Союзу. Більше того, в 1978 році були опубліковані основні положення цих рекомендацій, що стосувались ведення тваринництва в умовах забруднення навколишнього середовища сумішшю молодих продуктів ядерного поділу [171]. Ці розробки давали відповіді практично на всі питання, що стосувались прийняття рішення про забій тварин. Але дані наукових розробок у гостру фазу аварії не були використані, як до аварії так і після неї не було введено офіційних радіаційних нормативів для ветеринарних служб, на основі яких повинен проводитись прогноз променевого ураження, сортування тварин і прийматися рішення про можливість їх господарського використання, лікування чи забою шляхом утилізації. Забій тварин пов'язаний не тільки з прямими збитками, а і значною вторинною радіаційною небезпекою для людини через забруднення забійних майданчиків і цехів. Групи тварин за їх великого скупчення і накопичення у вмісті їх шлунково–кишкового тракту радіонуклідів можуть становити сильне джерело гамма–опромінення персоналу. Звичайно, що м'ясокомбінати та інші переробні підприємства на той час не мали спеціального обладнання, а персонал не проходив спеціальної підготовки щодо поводження з радіоактивними речовинами, оскільки в Україні не було фахівців з практичним досвідом ліквідації наслідків подібних аварій у тваринництві [164, 165, 172]. Під час забою і переробки туш худоби, забруднених радіонуклідами, додатково забруднювались робочі місця на м'ясокомбінатах, спецодяг, місце складування. У системі державних служб ветеринарної медицини України та „Укragрохіму” через нестачу чутливої радіометричної апаратури протягом 1986 року не було налагоджено радіологічного контролю, тому на м'ясокомбінати надходила худоба зі значним перевищенням існуючих нормативних вимог радіоактивного забруднення. Ці туші накопичувались у холодильниках. Протягом 1986 року було забито близько 100 тис голів великої рогатої худоби і 20 тис свиней,

хоча аналіз радіаційної ситуації свідчив, що критичними групами тварин були велика рогата худоба і вівці, а тому забивати свиней за радіологічними показниками необхідності не було. В результаті в кінці 1986 року було одержано 6405 т м'яса і 279 т субпродуктів з умістом радіоактивних речовин від 2×10^{-7} до 9×10^{-7} Кі/кг за допустимого на той час рівня 1×10^{-7} Кі/кг, які зберігалися в Україні, а потім були захоронені в зоні відчуження [173].

Радіологічна ситуація у лісових екосистемах. З перших днів аварії радіологічна ситуація вивчалась у лісових і водних екосистемах спеціалістами відповідних міністерств. Інформацію про радіологічний стан у лісах України систематично надсилали до Держагропрому УРСР протягом 1986–1988 років. Так, у повідомленні №116 від 28.08.1986 року за підписом заступника міністра В.М.Брежнєва зазначалося, що

1. В лісах Київської, Житомирської і Чернігівської областей утримується другий клас пожежної безпеки. Протягом 27.08.86 р. пожежі в указаних областях не виникали. Постійно ведеться патрулювання в 30–кілометровій зоні двома гелікоптерами Мі–8 авіаохорони Держлісгоспу СРСР з пожежним десантом на борту. Спеціальна група Мінлісгоспу УРСР продовжує виконувати покладені на неї завдання в м.Чорнобиль.

2. Станом на 28.08.86 р. із 642 сімей, що були евакуйовані із 30–кілометрової зони Чорнобильської АЕС, житлом забезпечено 265.

3. Інших змін обстановки на підприємствах Мінлісгоспу УРСР за минулу добу не було”.

Цікава інформація надійшла від Міністерства лісового господарства Постійній комісії Верховної Ради України з подолання наслідків аварії на ЧАЕС [229]. Найявний документ об'єктивно відображає складну ситуацію тих років, самовідданість, дисциплінованість працівників усіх рангів. З нього видно, які труднощі прийшлося долати всім службам заради зменшення впливу радіоактивного опромінення на населення держави. Слід відзначити, що ліси акумулювали значно більше радіонуклідів, викинутих під час аварії у навколишнє середовище, ніж відкриті площі. Лісові масиви виконали свої

природні захисні функції і значно зменшили рівень радіоактивного забруднення населених пунктів і сільськогосподарських угідь. Після аерального надходження цезію–137 до лісової екосистеми від 70 до 90 % його сумарної активності було затримано кронами хвойних дерев. Уже в перший вегетаційний період почалася інтенсивна міграція радіоцезію, що призвело до його істотного перерозподілу між компонентами лісової екосистеми. Через 3–4 місяці до 80-90% цезію–137 мігрувало на поверхню мохового покриву та лісової підстилки і розпочалося поступове кореневе поглинання рослинністю. Найбільшого забруднення зазнали лісові масиви Житомирської (60%), Київської (52%), Рівненської (56%) областей. Про це свідчать дані наведені в табл. 5 [151]. На півночі України зосереджено майже 40% усіх лісових масивів. Майже 39% лісів у 18 областях України мають щільність забруднення ґрунту радіонуклідами понад 1 Кі/км² і виявлені на території 1,23 млн га.

Таблиця 5.

Забруднення лісових насаджень України цезієм–137 (станом на 01.01.1993)

Радіаційний рівень, Кі/км ²									
Лісовий масив	Площа лісів тис. га	До 1	1,1-2,0	2,1-5,0	5,1-10	10-15	15,1-40	40,1-80	80
Україна загалом	3186,4	1955,1	692,2	396,8	78,4	23,1	31,3	7,4	2,1
Волиньліс	178,4	136,2	36,9	5,3	–	–	–	--	--
Житомирліс	732,3	292,4	185,2	158,3	50,3	16,4	27,0	4,8	0,6
Київліс	372,3	178,0	129,3	38,1	13,0	5,5	4,2	2,6	1,5
Чернігівліс	348,5	273,8	47,4	23,1	3,3	0,9	0,06	–	–
Рівнеліс	671,5	293,6	215,3	151,6	10,7	0,3	–	–	–

Характерною особливістю радіоактивних опадів у лісах, як і на сільгоспугіддях, є їх плямистість. Так, найбільша щільність радіоактивного забруднення лісів у Житомирській області спостерігається в північних держліспгоспах (Народицький, Овруцький, Лугинський, Словечанський та ін.).

У Рівненській області максимальна щільність радіоактивного забруднення не перевищує 15 Кі/км². Ліси з максимальною щільністю забруднення 5–15 Кі/км² розміщені у Ракитнівському, Дубровицькому, Зарічнлянському районах Рівненської області.

Лісогосподарські підприємства України за рівнем радіоактивного забруднення продукції лісового господарства і щільністю забруднення ґрунту умовно поділяються на чотири групи.

1. Держлісгоспи з рівнем забруднення ґрунту у лісових насадженнях не більше 1 Кі/км². Режим ведення господарства без обмежень.

2. Держлісгоспи лісостепової і степової зон України, де виявлено ділянки лісу з забрудненням ґрунтів за цезієм-137 до 10 Кі/км². Через наявність багатих сірих, темно-сірих лісових ґрунтів та опідзолених чорноземів на цих площах не спостерігається значного накопичення радіонуклідів у продукції.

3. Держлісгоспи Полісся України, територія яких забруднена цезієм –137 щільністю до 5 Кі/км². На цих територіях не спостерігається значного радіоактивного забруднення деревини. Необхідний радіологічний контроль грибів, ягід, лікарської сировини, березового соку, сіна, диких тварин.

4. Держлісгоспи Полісся України, де щільність забруднення цезієм–137 більше 5 Кі/км². У цій зоні заборонений відстріл диких тварин, введені обмеження на використання продукції лісового господарства [147].

За межами 30–кілометрової зони ЧАЕС через високі рівні радіоактивного забруднення лісових насаджень цезієм–137 усі види сільськогосподарської діяльності було заборонено на площі понад 157 тис га, а 110 тис га лісів Чорнобильського і Ново–Шепелицького держлісгоспів відійшли до складу зони відчуження. Загальні прямі збитки, які понесли підприємства лісового господарства внаслідок радіоактивного забруднення, станом на 31.12.86 року, становили 65 млн доларів США [174].

Радіаційний контроль продукції лісового господарства в системі Держкомлісгоспу України здійснюють вісім радіологічних лабораторій. За їх

даними ситуація щодо радіоактивного забруднення продукції лісового господарства в лісах Поліського регіону залишається напруженою. Лісові масиви залишаються для більшості населення Українського Полісся критичним місцем щодо формування доз внутрішнього опромінення. Більшість населення використовує у їжу продукти лісу, а їх внесок у формування дози внутрішнього опромінення сягає 50 – 60% дози, отриманої від усіх харчових продуктів. Працівники лісового господарства залишаються критичною групою населення щодо дозоутворення, оскільки роботи з догляду за лісом пов'язані з підвищеним дозоутворенням. Ліс залишається також початковою ланкою для багатьох харчових ланцюгів [174]. Всього в лісовому фонді України (крім 30-кілометрової зони) заборонено лісогосподарську діяльність на площі 40,8 тис. га, регламентується використання деревної продукції лісів на площі 101,5 тис га і продукції побічного користування – на 1190,5 тис га.

Радіаційна ситуація у водних екосистемах. Вивчення радіоекологічної ситуації на річках та водоймах, контроль за рівнем радіоактивного забруднення водних систем було покладено на Міністерство меліорації і водного господарства України. Вже з перших днів спеціалісти Міністерства вели моніторинг концентрації радіонуклідів у р.Дніпро та її притоці Прип'яті і чітко встановили, що забруднення води зумовлене радіоактивними опадами. Починаючи з 1986 року до Держагропрому УРСР почала регулярно надходити інформація про рівень радіоактивності води у Київському, Канівському, Кременчуцькому водосховищах, у річках, що впадають в них (Десні, Прип'яті, Тетереві, Ужі, Стугні, Росі, Трубіжі, Супою). Про радіологічну ситуацію водних систем України в перші місяці після аварії свідчать інформація №15/2–652, №378с від 6.07.86р. Українського управління по гідрометеорології та контролю природного середовища для Уряду, Мінохоронздоров'я та АН УРСР про результати вимірів бета-активності води [166]; інформація №15/2–909 ДСП від 03.09.86р. Мінмеліоводхозу України та звіт №148с від 24.09.86р. Інституту

гідробіології АН УРСР про виконання науково–дослідних робіт з обстеження водойм України та вміст радіонуклідів [175].

Вивчення радіологічної ситуації водних систем показало, що внаслідок аварії на ЧАЕС сталося забруднення донних відкладів Київського і Канівського водосховищ. Найбільші рівні забруднення поверхневих водних об'єктів спостерігалися безпосередньо протягом періоду випадання аерозолей на їх акваторію. В перші після аварійні тижні у річках Прип'ять, Тетерів, Ірпінь, Дніпро, навіть на відстані у кілька десятків кілометрів від ЧАЕС, рівні забруднення вод перевищували санітарні норми у десятки, сотні і навіть тисячі разів. Найвищі рівні забруднення спостерігалися у р.Прип'ять біля м.Чернобиль, де активність води за йодом 131 сягала 4440 Бк/л. З 1986 по 1991 роки забруднення Київського водосховища становило $(1-1,2) \times 10^8$ Бк за стронцієм-90 і $(1,2 - 1,7) \times 10^8$ за цезієм-137. З 1987 року забрудненість за стронцієм-90 до 10% і за цезієм-137 до 50% зумовлена муловими суспензіями. В результаті осідання радіоактивно забрудненої колоїдної та мулистій фракції спостерігалось самоочищення води. Водночас, упродовж усіх післяаварійних років стік радіостронцію у дніпровські водосховища формувався переважно в зоні відчуження ЧАЕС в основному за рахунок фільтраційного стоку із водойм, дренажів підтоплення польдерних земель, підтоплення заплавл річок. Значне зменшення радіоактивних стоків у річки завдяки реалізації певних водоохоронних заходів після 1993 року на заплавах і меліоративних системах у ближній зоні ЧАЕС позначилося на зниженні забруднення у р.Прип'ять. Північніше м.Києва було проведено низку заходів щодо уповільнення переміщення радіонуклідів цезію-137 і стронцію-90 через ґрунтові та поверхневі води: побудовано 140 гребель і дамб для обмеження стоку з майданчика станції в озеро–охолоджувач і р.Прип'ять, промито певну кількість існуючих мулоуловлювачів на дні річок, озера–охолоджувача і водосховища, навколо станції побудовано бар'єр завдовжки у 8 км і 30–35 м глибиною для запобігання переміщенню радіоактивної води у напрямі Дніпра.

Підсумовуючи вищенаведені факти та матеріали можна дійти висновку, що попри відсутність в Україні достатньо підготовлених кадрів, відповідного обладнання, матеріально–технічного оснащення, вже 26 квітня 1986 року перша міжвідомча бригада спеціалістів Міненерго СРСР, Мінздорів'я СРСР, Міноборони СРСР та спеціалістів відомств України розпочали роботи з вивчення радіаційної ситуації як первинної і основної ланки для прийняття управлінських рішень. Тобто основні завдання радіоекології взагалі і сільськогосподарської зокрема, які необхідно було вирішувати при попаданні радіоактивних речовин в атмосферу – оперативна оцінка радіоекологічної ситуації, рівень забруднення навколишнього середовища, почали виконуватись з перших днів після аварії.

Оцінка радіаційної ситуації встановила, що під час випробування систем безпеки ЧАЕС, наслідком якого був аварійний вибух, руйнація реактора, виникнення пожежі і викидання в атмосферу великої кількості радіації, найінтенсивнішим було забруднення навколо зруйнованого реактора, куди впали брили стержнів і уламки реактора. Але значний викид радіоактивності, що і досі впливає на екологічну ситуацію, потрапив у навколишнє середовище. Під впливом високої температури, метеорологічних умов радіоактивні частки піднялися на велику висоту і, рознесені вітром, поступово осіли на величезній території, яка охопила Україну, Білорусію, Росію та деякі країни Європи. Напряму вітру змінювався кілька разів, упродовж чого радіоактивна хмара за цих умов створила три напрями радіаційних опадів: західний, північний і південний. Продукти радіаційних викидів осіли на півночі від місця аварії, охопивши північно–східні території України, східної Білорусі та західні райони Російської федерації, а потім уже регіони на південь у напрямку м.Києва.

Уже в перші дні після викиду почалося вивчення складу і розповсюдження радіоактивного забруднення. І хоча сьогодні немає вірогідних даних, але вже тоді стало ясно, що радіоактивні викиди містили речовини і матеріали з різноманітними фізичними, хімічними та

біологічними властивостями. Крім цього, було встановлено, що чорнобильські викиди представлені паливною компонентою – частинками дрібнодиспергованого ядерного палива (паливними частинками) і конденсаційною компонентою.

На початковому періоді найбільший вплив на стан здоров'я населення мав ізотоп йоду–131, період напіврозпаду якого становить 8 днів. Тому не виключена можливість первинного забруднення радіонуклідом йод–131 територій поза межами тих, що були віднесені до потерпілих від наслідків аварії на станції.

Радіоактивні частки осіли на ґрунті, рослинах (овочах, фруктах), на тваринах (великій рогатій худобі, вівцях, що були виведені на пасовища), техніці, будівлях та інших об'єктах. Гамма–радіація від цих часток була головною складовою зовнішньої дози, яку отримало населення протягом перших після аварійних місяців.

Радіоактивному забрудненню підпали в основному сільські регіони, де переважно розташовані ліси, болотиста місцевість, сільськогосподарські угіддя і пасовища. Тут традиційно рівень життя людей, весь уклад залежав від результатів сільськогосподарської діяльності і збору природних дарів (ягід, грибів, дичини, риби).

Успішне розв'язання значної кількості невідомих на той час питань методології радіаційної оцінки ситуації стало важливим внеском у становлення і розвиток вітчизняної сільськогосподарської радіоекології. Проблеми мінімізації наслідків аварії стали могутнім стимулом активного наукового пошуку, що сприяло становленню і розвитку сільськогосподарської радіоекології в Україні як самостійної вітчизняної галузі науки.

1.5.2. Система управління з мінімізації наслідків аварії

Чорнобильська аварія 1986 року за своїми масштабами, спектром викинутих радіонуклідів, кількістю території та населення, що одержали додаткове забруднення і опромінення, не мала аналогів і тому потребувала

нових, нестандартних управлінських рішень. Ця обставина обумовила і особливу роль наукового забезпечення всіх етапів робіт з ліквідації наслідків аварії.

Насамперед, для створення системи управління процесом мінімізації наслідків аварії потрібна була об'єктивна інформація про масштаби радіоактивного забруднення територій, водних ресурсів, рослинного і тваринного світу, населення. Тільки на основі такої інформації можна розробити чіткий план дій – програму наукового супроводу першочергових заходів і перспектив, а це є основним завданням науки – сільськогосподарської радіоекології. З перших хвилин аварії необхідно було приймати різні за рівнем і складністю рішення: від масштабних на державному рівні до локальних, що стосуються окремого поля чи ферми, чітко знати і контролювати ситуацію. Необхідний був також відповідний орган управління, здатний контролювати ситуацію, оперативно приймати рішення.

З інформації ЦК Компартії України, що зберігається в центральному державному архіві громадських організацій (ЦДАГО), 26 квітня 1986 року о 9 год 30 хв секретар ЦК Компартії України Б.В.Качура ознайомив першого секретаря ЦК Компартії України В.В.Щербицького з інформацією під грифом „цілком таємно”, яка надійшла з Київського обкому за № 49с/5 про вибух на ЧАЕС. О 13 год 15 хв четвертий відділ ЦК Компартії України (відповідальний В.О.Лапко) відправив інформацію про ситуацію на ЧАЕС у ЦК КПРС за підписом В.В. Щербицького [176].

Вже 26 квітня 1986 року була сформована Урядова комісія СРСР з правом координації дій усіх організацій та інших органів управління з ліквідації наслідків аварії та повноваженням мобілізації ресурсів необхідних для проведення робіт, яка продовжувала свою діяльність до 1991 року. Очолив її заступник Голови Ради Міністрів СРСР В.С.Щербина. Головне завдання комісії – визначення масштабів аварії, прийняття заходів щодо локалізації та ліквідації наслідків аварії, охорона здоров'я та допомога

населенню, детальне вивчення причин аварії та запобігання подібним аваріям у майбутньому [148].

Попереднє вивчення ситуації виявило великі масштаби аварії і необхідність залучення для її ліквідації всіх галузей народного господарства Радянського Союзу [176]. У зв'язку з цим 29 квітня 1986 року створюється і приступає до роботи оперативна група Політбюро ЦК КПРС на чолі з членом Політбюро ЦК КПРС, Головою Ради Міністрів СРСР М.І.Рижковим. До складу групи увійшли члени Політбюро ЦК КПРС В.І.Воротніков, Є.К.Лігачов, В.М.Чебриков, кандидати в члени Політбюро В.І.Долгих, С.А.Соколов, член ЦК КПРС міністр внутрішніх справ О.В.Власов. Аналогічна Оперативна група (ОГ) Політбюро ЦК КПУ була створена 3 травня 1986 року рішенням ЦК Компартії України. До складу групи увійшли: О.П.Ляшко – голова, Б.В.Качура, Є.В.Качаловський, В.А.Івашко, С.М.Муха, І.І.Ревенко, В.А.Згурський, І.Д.Гладуш, О.М.Ткаченко [177]. Ця група підключилась до роботи як на станції, так і в Київській, Житомирській, Чернігівській областях та в м.Києві. Зі стенограми першого засідання ОГ Політбюро ЦККПУ від 03.05.1986 видно, що група мала повноваження розв'язувати всі нагальні питання і проблеми, які виникли за період від 26 квітня 1986 року: евакуація населення, збір інформації, контроль виконання розпоряджень Державної комісії, будівництво могильників для поховання радіоактивних відходів, працевлаштування евакуйованого населення, організація прийому дітей до шкіл та навчальних закладів, забезпечення видачі атестатів, обслуговування евакуйованого населення. Оперативна група приділяла увагу також організації медичного обслуговування населення Києва, проведення сільськогосподарських робіт та стану якості води [178].

Оперативною групою було проведено низку заходів щодо захисту населення від наслідків аварії: встановлення контролю над рівнем забруднення радіонуклідами продуктів харчування, організація з травня по вересень оздоровчого відпочинку дітей, створення пунктів з вимірювання

гамма-поля в м.Києві тощо. Вже на першому засіданні головою ОГ були поставлені такі завдання перед Агропромом України і ученими-аграрниками:

- які роботи треба вести на полях і фермах, що робити з продуктами рослинництва, в якому вигляді їх вживати та інформувати про це населення;
- що робити з продуктами тваринництва – м'ясом, молоком та іншою продукцією.

Голові Держагропрому УРСР Ю.О.Коломійцю доручено займатись питаннями контролю за ходом сільськогосподарських робіт. На цьому ж засіданні Б.Є.Патону, Романенку, О.М.Ткаченку, Скрипнику було дано доручення до 09.05.1986 року дати оцінку ситуації і прогноз за мінімумом і максимумом наслідків катастрофи, чого очікувати і на які моменти звертати увагу, а також зробити карту забрудненості територій [178]. Протоколи засідань та їх невиправлені стенограми зберігаються у фонді №1 ЦДАГО України в 3 томах, більш ніж на 300 сторінках. Всі вони підписані О.П.Ляшком.

Паралельно зі створенням союзної Урядової комісії Рада Міністрів України формує 30 квітня 1986 року оперативну групу під керівництвом заступника Голови Ради Міністрів УРСР Є.В.Качаловського [177]. Її функції – в межах України такі самі, як і союзної. Пізніше на базі цієї групи спільною постановою ЦК КПУ і РМ УРСР № 365–019 від 14 жовтня 1986 року було створено Республіканську комісію з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС на чолі з заступником Голови РМ УРСР Є.В.Качаловським. Членами комісії були: Ємненко, Гречко, Ткаченко, Склярів, Ткач, Трефілов. У лютому 1990 році Постійну надзвичайну комісію при РМ УРСР з питань ліквідації наслідків аварій, катастроф стихійних лих спеціальною постановою РМ УРСР № 29 від 9 лютого 1990 року було перетворено на Комісію РМ УРСР з надзвичайних ситуацій, яку очолив заступник Голови РМ УРСР К.І.Масик. У травні 1990 року згідно з Постановою Верховної Ради УРСР № 95 „Про невідкладні заходи щодо захисту громадян України від наслідків

Чорнобильської катастрофи” створено Державний Комітет УРСР з питань Чорнобильської катастрофи (Держкомчорнобиль), який у травні 1991 року був перетворений на Міністерство України у справах захисту населення від наслідків аварії на Чорнобильській АЕС [179].

Паралельно із створенням Урядової та Республіканської комісії з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС була сформована оперативна група Держагропрому України на чолі з Міністром Держагропрому УРСР О.М.Ткаченко. Основне завдання оперативної групи – забезпечення організації збору та підготовки інформації про надання необхідної допомоги в ліквідації наслідків аварії та розв’язання оперативних питань, пов’язаних з мінімізацією наслідків аварії. До складу оперативної групи увійшли відповідальні працівники Держагропрому УРСР: А.Г.Денисенко, В.К.Соломаха, В.Л.Філоненко, В.В.Куянов, В.І.Череп, Г.Д.Загородній, В.А.Лісіцин, Н.А.Пильников, Л.О.Зіневич, В.І.Сахненко, І.А.Куркурин, В.Н.Лукиянчук, П.П. Достоевський, В.С.Харченко, А.П.Харченко, А.Е.Карпинський, Д.Ф.Прохоров, В.Н.Ткач, В.П.Скрипник, В.Д.Байтала, В.П.Горошко, І.І.Шматольян. Протоколи засідання Оперативної групи зберігаються в Центральному державному архіві вищих органів влади і органів державного управління України. Розсекречені 26.06.1990 року.

Відповідні обласні і районні керівні та виконавчі органи на місцях створювали оперативні групи, штаби, комісії. У травні 1986 року була організована спеціальна група від Держагропрому УРСР для участі в роботі центру збору і узагальнення інформації про радіаційну ситуацію, організації служби радіологічного контролю за харчовими продуктами на колгоспних ринках, посилення ветеринарного і дозиметричного контролю сільськогосподарської продукції, захист населення від опромінення, а також забезпечення населення питною водою [180, 181, 182].

Документи свідчать, що вже 19 травня 1986 року на нараді у заступника Голови Ради Міністрів УРСР Є.В.Качаловського розглядалося питання про розроблену вченими АН УРСР технологію очищення

Дніпровської води від радіоактивних ізотопів із застосуванням більш ефективних реагентів (активоване вугілля, клиноптилоліт, бентоніт та ін.). Видані пропозиції з проведення локалізації радіонуклідів в озері–охолоджувачі ЧАЕС та створення геохімічного бар'єра на р. Прип'ять .

У перші дні після аварії головним завданням було вивчення радіаційної ситуації, організації служби радіологічного контролю за харчовими продуктами на колгоспних ринках, посилення ветеринарного і дозиметричного контролю сільськогосподарської продукції, захист населення від опромінення.

У період з 3 по 10 травня радіаційна ситуація в Київській, Житомирській, Чернігівській областях значно погіршилась. Тому діяльність оперативної групи була спрямована на вирішення таких питань: вивчення радіаційної ситуації, забезпечення населення „чистими” продуктами харчування, питною водою [183]. Було доручено А.І.Сахненку і А.Г.Денисенку створити оперативну групу з відбору проб ґрунту і рослинності і з урахуванням забрудненості місцевості визначити зональні межі проведення сільськогосподарських робіт і прийняти рішення щодо їх припинення.

У травні 1986 року у торгівельну мережу почали надходити овочі, ягоди, що були забруднені радіонуклідами. Необхідно було посилити контроль за торгівлею на ринках [165, 172, 182]. 30 травня 1986 року № 229–252 ДСП головним санітарним лікарем Бургасовим затверджуються тимчасові допустимі рівні радіоактивних речовин у харчових продуктах, воді, лікарських травах. На засіданні ОГ Політбюро ЦК КПРС з питань ліквідації аварії на ЧАЕС від 9 червня 1986 року приймають відповідні рішення щодо використання цих рівнів, про вибіркового контроль та жорсткий контроль продукції, отриманої на територіях з великим рівнем радіації, а також збір та використання дикорослих плодів, грибів, ягід на територіях з рівнем радіації вище 2 мР/год (на 10.05.1986р.) в 1986 році заборонялося [184]. На наступних засіданнях особлива увага була звернута

на проведення дозиметричного контролю продукції тваринництва – молока, м'яса, розробки для колгоспів та радгоспів розташованих у зоні забруднення тимчасових рекомендацій з дезактивації ґрунтів, використання багаторічних трав, пасовищних угідь та ін.

Було поставлене термінове завдання Українській академії аграрних наук (тоді Південне відділення ВАСГНІЛ) про розробку тимчасових рекомендацій для колгоспів і радгоспів з організації дезактивації ґрунтів та інструкції з контролю продукції рослинництва і тваринництва. Відповідні рекомендації щодо ведення сільського господарства були підготовлені Держагропромом УРСР та науковцями Південного відділення ВАСГНІЛ вже до 24.05.1986 [185, 186].

У вересні 1986 року в системі Держагропрому УРСР була створена експертна комісія з радіологічних питань, яку очолив начальник Головного управління виробничої перевірки, пропаганди і впровадження науково-технічних досягнень та передового досвіду М.В.Зубець, а його заступником було призначено начальника управління агрохімслужби В.П.Цифіра. Головне завдання комісії – експертиза документів, даних дозиметричної паспортизації та радіологічного контролю, координація всіх робіт, пов'язаних з вивченням радіаційної ситуації в республіці. В комісії діяло 4 секції – землеробства, тваринництва і ветеринарії, харчової промисловості, плодоовочевого господарства. У складі комісії були директор Українського філіалу Всесоюзного науково-дослідного інституту сільськогосподарської радіоекології (ВНДІСГР), доктор технічних наук М.О.Лоцилов, завідувач відділу Київського філіалу ЦІНАО М.І.Майстренко, завідувач лабораторії рослинництва Українського філіалу ВНДІСГР П.Ф.Бондар, провідний науковий співробітник відділу біофізики і радіобіології Інституту ботаніки АН УРСР А.А.Булах та інші. Слід підкреслити, що протягом 3 років члени комісії узагальнювали матеріали, готували відповідні інформації для Ради Міністрів УРСР, ЦК КПУ, Урядової комісії із ситуації, що складалась на конкретний період [187].

Заключення. Аналіз архівних документів свідчить що, за порівняно короткий час була сформована дієва система управління процесами ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС на союзному, республіканському та місцевому рівнях [148]. У системі Держагропрому УРСР була створена також система управління з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС.

Аналіз протоколів засідань оперативної групи свідчить, що Держагропром УРСР систематично і оперативно у співдружності з ученими вирішував безліч питань радіоекологічного змісту, які виникали в процесі ліквідації наслідків аварії, особливо в перший період. Про це свідчить і такий приклад: наприкінці червня 1986 року гостро постало питання проведення сільськогосподарських робіт. На той час не було рекомендацій з техніки безпеки праці у цих районах. Було поставлено завдання науковим підрозділам розробити тимчасові рекомендації щодо ведення агропромислового виробництва, можливості збирання врожаю зернових у найбільш забруднених районах. Це завдання було виконано в строк.

У сільськогосподарському і лісовому господарствах Держагропром України став основним організатором робіт з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС. Характерна особливість його діяльності – тісна співпраця з ученими АН України, ПВ ВАСГНІЛ інших відомств. Така співпраця слугувала активному розвитку вітчизняної сільськогосподарської радіоекології, росту авторитету учених – і їхньому внеску в світову сільськогосподарську радіоекологічну науку.

Одним із важливих завдань сільськогосподарської радіоекології при попаданні радіоактивних речовин у навколишнє середовище – це радіологічний контроль ступеня його забруднення та продукції, що виробляється на такій території, і передусім сільськогосподарської. Тому вже в травні-червні постала необхідність посиленого дозиметричного контролю сільськогосподарської продукції, особливо овочів. Кожний день виникали питання радіоекологічного профілю, на які необхідно було давати відповідь і приймати рішення.

У червні 1986 року Рада Міністрів України своїм розпорядженням від 13.06.1986 року №332–рс [180] розподілила функції між підрозділами Держагропрому УРСР з контролю за навколишнім середовищем [188]. Аналізуючи численні документи про діяльність Держагропрому УРСР, слід підкреслити, що роботи з вивчення забрудненості радіонуклідами сільськогосподарських угідь розпочалися оперативно вже на третій день після аварії працівниками проектно–пошукових станцій хімізації сільського господарства Київської, Житомирської, Чернігівської і Черкаської областей, а пізніше до цієї роботи підключилися практично всі обласні станції. Слід зазначити, що у свій час у системі Укрсільгоспхімії була створена радіологічна служба. Працівники цих служб з перших днів аварії включились у роботу з обстеження території України на забрудненість радіонуклідами. Ними з 21 травня по 7 червня 1986 року здійснена дозиметрична зйомка місцевості навколо ЧАЕС у радіусі 200 км за 12 радіальними напрямками Київської, Житомирської, Чернігівської і Черкаської областей, проведено відбір проб на радіоактивне забруднення ґрунту, складено карту забрудненості стронцієм–90, цезієм–134, цезієм–137, на основі яких розроблено „Тимчасові рекомендації по веденню всього комплексу сільськогосподарських робіт”.

У липні–серпні 1986 року було обстежено 47 населених пунктів Поліського, Народицького і Овруцького районів, а в жовтні – Чорнобильського району та виконано гамма-зйомку сільськогосподарських угідь Іванківського, Вишгородського і Обухівського районів Київської області. У 1987 році повторно обстежено Поліський, Народицький і Овруцький райони. За 1986–1987 роки виконано більше як 6 тисяч аналізів ґрунтів на вміст цезію–137, 134 і стронцію–90. У 1988 році співробітниками агрохімслужби здійснено суцільну надземну гамма-зйомку всіх сільськогосподарських угідь 24 областей України і АПК. За рішенням Державної надзвичайної комісії України у травні 1989 року повторно уточнено радіаційну ситуацію і за цими матеріалами розроблено карти

забруднення сільськогосподарських угідь п'яти областей України, які були передані керівникам господарств для практичного використання.

Роботи з уточнення радіаційної обстановки тривали у 1990 році в Київській, Житомирській, Рівненській, Черкаській областях. Відібрано понад 30 тис проб ґрунту для електрометричних аналізів на вміст цезію–137 і 3340 проб для радіохімічного аналізу стронцію–90.

У 1986–1987 роках сільські трудівники працювали за тимчасовими рекомендаціями, розробленими Держагропромом СРСР спільно з Інститутами АН УРСР, Південного відділення ВАСГНІЛ. Вони діяли до 1988 року. З 1988 року було затверджене Держагропромом СРСР „Керівництво по веденню сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення частини території Росії, України і Білорусі на період 1988-1990 роки”.

Навколо 45 населених пунктів Народицького і Поліського районів були створені буферні зони глибиною від 200 до 2000 м, загальною площею 14 тис га – лісові ділянки.

Для обстеження надходження радіонуклідів із ґрунту в рослини, згідно з рекомендаціями, на забруднених землях регулярно проводяться агро меліоративні роботи: вапнування по 5–6 т на 1 га, внесення підвищених норм мінеральних добрив, НРК 1:1,5:2, періодично залужуються і переаолужуються луки і пасовища. При проведенні сільськогосподарських робіт для запобігання ерозії ґрунту і пилоутворенню застосовуються технології з мінімальним обробітком ґрунту.

У 1986–1988 роках у 16 господарствах Поліського Київської області і Овруцького районів Житомирської області проведено перепрофілювання рослинництва і тваринництва, внаслідок чого скоротився валовий збір хмелю і овочів, зменшилось на 59 тис поголів'я ВРХ, на 16 тис голів свиней на 359 тис птиці.

Оперативно, упродовж червня–вересня формувалась дієва служба радіологічного контролю в системі Держагропрому УРСР, Держкомлісгоспу УРСР [154,181]. Додатково були створені такі самі підрозділи у ветеринарній

службі, підприємствах харчової промисловості, молокозаводах. На початку жовтня 1986 року вже функціонувало 37 постів дозиметричного контролю, 14 пересувних радіологічних лабораторій, 87 радіологічних лабораторій на підприємствах харчової промисловості, 12 лабораторій оптово–роздрібних плодоовочевих комбінатів і 19 лабораторій ветеринарно-санітарної експертизи на колгоспних ринках м.Києва. Аналізи проводили більш точними приладами ДП–100, СРП – 68–01, КРК [154]. Для зони підвищеного забруднення, в якій розміщені 22 господарства Поліського району Київської області, Овруцького і Народицького районів Житомирської області, агрохімслужбою УРСР створена карта забруднення кожного поля сівозміни. Згідно з цими показниками розроблено програми з перепрофілювання рослинництва і тваринництва [189].

З березня 1987 року систематичний радіологічний контроль за якістю сільськогосподарської продукції у колгоспах, радгоспах, на м'ясокомбінатах, молокозаводах і ринках почала здійснювати державна ветеринарна і агрохімічна служба Держагропрому УРСР, а державний нагляд – санітарно–епідеміологічна служба Мінохорони здоров'я УРСР. За даними [154] уже в кінці 1987 року у структурах Держагропрому УРСР радіаційний контроль здійснювали 1670 радіологічних лабораторій, відділів і постів, у тому числі 1126 ветеринарних, 120 агрохімічних, 165 на колгоспних ринках Київської, Житомирської і Чернігівської областей, 20 науково–дослідних інститутів, у харчовій промисловості – 35, м'ясомолочній –149, плодоовочевій – 81 лабораторія. Функціонувало також 16 пересувних лабораторій на базі автобуса КАВЗ–685. Використовувались різні, більш точні прилади дозиметричного і радіологічного контролю, в тому числі: ДП–5В (765 шт.), ДП–100 (528 шт.), КРК–1 (192), СРП–68-0 (662шт.), КРБ–1 (147 шт.), КРБ-4 – 1eM (227 шт.). Лише ветеринарною службою і лабораторіями промислових підприємств у 1987 році здійснено більше 1,8 млн досліджень продукції рослинництва і тваринництва на забрудненість радіонуклідами. Найбільшу кількість аналізів проводили в м.Києві і Київській області (970

тис аналізів на початок серпня 1987 року). Формування служби радіологічного контролю, яка і нині функціонує в Міністерстві аграрної політики України, було практично завершено до 1992 року.

Підсумовуючи вищевикладене доходимо висновку, що мережа радіаційного контролю є складовою частиною системи радіологічного моніторингу, який впроваджено на забруднених територіях. Він сприяє запобіганню надходження забрудненої радіонуклідами продукції сільськогосподарської, лісової та харчової галузей, а також виконує функції оцінки радіаційної ситуації з метою цільового управління нею. Система радіологічного контролю забруднення ґрунтів, сільськогосподарської продукції, харчових продуктів, води є однією із основних ланок дієвості сільськогосподарської радіобіології і радіоекології. Тому створення і функціонування такої системи радіологічного контролю – це один із важливих етапів розвитку сільськогосподарської радіобіології і радіоекології в Україні.

Створена структура системи радіологічного контролю в системі Міністерства аграрної політики, Міністерства лісового господарства була досить розгалуженою, міцною і була здатна виконувати основні функції. На той час в службі радіологічного контролю Міністерства аграрної політики працювало близько 700 осіб, у тому числі 364 радіоекологів господарств, на молокопереробних підприємствах – 156, на м'ясопереробних – 79.

У радіологічній службі лісового господарства працюють 50 фахівців радіологічних лабораторій, 55 інженерів–радіологів держлісгоспів. Система радіаційного контролю галузі забезпечує одержання необхідної інформації про радіологічну ситуацію у галузі і використовується для прийняття рішень, щодо забезпечення ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення.

Підсумовуючи вищевикладене в цілому, можемо констатувати, що:

1. Держагропром України став основним організатором робіт з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС у сільськогосподарському виробництві.

Організуючи роботи по мінімізації наслідків аварії, Держагропром України керувався рекомендаціями науково–дослідних установ про радіаційну ситуацію на забруднених територіях. Він був замовником усіх науково–дослідних робіт. При вирішенні оперативних питань мінімізації наслідків аварії залучались наукові працівники, які на основі знань радіоактивної ситуації, високого професійного рівня рекомендували шляхи розв’язання тих чи інших проблем. Цим вони вносили вагомий внесок у розвиток сільськогосподарської радіологічної і радіоекологічної науки.

2. В умовах гострого дефіциту часу для координації дій з ліквідації, мінімізації наслідків аварії на ЧАЕС була створена різнорівнева система управління:

- на союзному рівні (Рада Міністрів СРСР, Верховна Рада СРСР);
- республіканському рівні (Рада Міністрів УРСР, Верховна Рада УРСР);
- обласному рівні (облвиконкоми, комбінати, главки);
- районному рівні (райвиконкоми, трести, будуправління);
- об’єктному рівні (райвиконкоми, трести, будуправління).

3. Створеною системою управління передбачалася діяльність виконавських формувань:

- на союзному рівні:

Оперативна група Політбюро ЦК КПРС на чолі з Головою Ради Міністрів СРСР М.І.Рижковим та Урядова комісія на чолі з заступником Голови Ради Міністрів СРСР Б.Є, Щербиною. Урядова комісія мала повноваження при необхідності залучати ресурси всього Радянського Союзу для реалізації програми ліквідації наслідків аварії.

- на республіканському рівні:

Робоча комісія з ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС на чолі із заступником Голови Ради Міністрів УРСР Б.Є.Качаловським. Ця комісія мала повноваження вирішувати всі питання, залучати необхідні матеріальні,

енергетичні і людські ресурси для ліквідації наслідків аварії в межах України.

4. Для координації дій, пов'язаних з мінімізацією наслідків аварії в агропромисловому виробництві та лісовому господарстві України при Держагропромі УРСР були створені:

- Оперативна група з питань ліквідації наслідків аварії на ЧАЕС, яку очолив О.М.Ткаченко;
- Оперативний штаб з радіологічних питань
- Група для участі в роботі центру збору, узагальнення інформації про радіаційну ситуацію при штабі ЦО УРСР, яку очолив М.В.Зубець;
- Оперативна група по відбору проб ґрунту і рослинності для визначення рівня радіоактивного забруднення, яку очолили В.І.Сахненко і А.Г.Денисенко. Координацію робіт з наукового забезпечення ліквідації, мінімізації наслідків аварії на ЧАЕС у системі Держагропрому УРСР виконували Південне відділення ВАСГНІЛ на чолі з академіком Г.О.Богдановим, експертна комісія з радіологічних питань на чолі з М.В.Зубцем та служба радіологічного контролю в системі АПК, яку очолював С.О.Ляшенко.

5. Характерною особливістю створеної системи управління з ліквідації і мінімізації наслідків аварії на ЧАЕС – була тісна співпраця з ученими наукових і навчальних закладів, оперативне і комплексне розв'язання абсолютно нових, невідомих проблем наслідків ядерної катастрофи. Жодне рішення на будь-якому рівні не приймалось без урахування експертного висновку вчених. Це сприяло інтенсивному розвитку і становленню радіоекологічної науки взагалі і сільськогосподарської зокрема як самостійної галузі науки в Україні.