

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

**І.М. Гудков,
В.О. Кашпаров,
О.Ю. Паренюк**

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Навчальний посібник

Київ – 2019

УДК 57.043:63:37.022

Г93

Рекомендовано Вченою радою
Національного університету
біоресурсів і природокористування України
протокол № 5 від 28.12.2018 р.

Рецензенти:

Ю.О. Кутлахмедов, доктор біологічних наук, професор
Національного авіаційного університету.

О.І. Розпутній, доктор сільськогосподарських наук, професор
Білоцерківського національного аграрного університету.

В.А. Гайченко, доктор біологічних наук, професор
Національного університету біоресурсів і природокористування
України.

Гудков І.М., Кашпаров В.О., Паренюк О.Ю. Радіо-
Г93 екологічний моніторинг : навчальний посібник. Київ, 2019.
188 с.

ISBN 978-966-289-....

Викладено основні положення про радіоекологічний моніторинг як систему збору первинної інформації про потужність поглиненої в повітрі дози, вміст радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, продукції рослинництва і тваринництва, харчових продуктах, воді та інших з метою подальшого її використання для радіаційно-гігієнічного та дозиметричного контролю. Радіоекологічний моніторинг розглядається як керований процес, завданням якого є контроль за поведінкою радіонуклідів у природних умовах та умовах антропогенного навантаження, аналіз отриманої інформації і врешті – складання прогнозу щодо радіаційної ситуації у майбутньому.

Для студентів екологічних напрямів підготовки освітнього рівня «Магістр», аспірантів спеціальностей «Радіобіологія», «Радіаційна безпека», «Екологія», фахівців у сфері охорони навколишнього середовища.

УДК 57.043:63:37.022

ISBN 978-966-289-....

© І.М. Гудков, В.О. Кашпаров, О.Ю. Паренюк, 2019

© «ОЛДІ-ПЛЮС», 2019

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	7
РОЗДІЛ 1.	
МОНІТОРИНГ. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	11
1.1. Основні визначення і поняття	11
1.2. Об'єкти, предмети та види моніторингу	14
1.3. Екологічний моніторинг	15
1.4. Цілі та завдання екологічного моніторингу	17
1.5. Основні положення екологічного моніторингу	20
РОЗДІЛ 2.	
РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	
ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА	
ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ	27
2.1. Основні визначення і поняття	27
2.2. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища	29
2.3. Цілі та завдання радіоекологічного моніторингу	30
2.4. Складові радіоекологічного моніторингу	32
2.5. Комплексний радіоекологічний моніторинг	35
2.6. Методологія радіаційного контролю та радіоекологічного моніторингу	40
2.7. Організація та функціонування системи радіоекологічного моніторингу	42
РОЗДІЛ 3.	
РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ	
АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ	47
3.1. Джерела надходження радіоактивних речовин в атмосферу	47

3.2. Вимоги до організації спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря . . .	51
3.3. Пости спостережень, програми і терміни спостережень	54
3.4. Методи відбору проб повітря та оцінювання його радіоактивності	55
3.5. Супутні метеорологічні спостереження при відборі проб повітря	56
3.6. Радіоактивне забруднення атмосфери при пожежах на забруднених радіонуклідами територіях	57

РОЗДІЛ 4.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ 62

4.1. Джерела радіоактивного забруднення ґрунту	63
4.2. Міграція радіонуклідів у ґрунті	64
4.3. Об'єкти і методи радіоекологічного моніторингу ґрунтів	71
4.4. Проведення гамма-зйомки над поверхнею ґрунту	73
4.5. Відбирання проб ґрунту	76
4.6. Підготовка проб ґрунту до радіометрії і спектрометрії	80
4.7. Визначення щільності радіонуклідного забруднення ґрунту	81
4.8. Методологічні підходи до прогнозування радіоактивного забруднення ґрунтів	81

РОЗДІЛ 5.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДОЙМ 85

5.1. Джерела надходження радіоактивних речовин у водойми	86
5.2. Завдання радіоекологічного моніторингу водойм	91
5.3. Методи відбору проб води та оцінювання їхньої радіоактивності	91

5.4. Захист водойм від надходження радіонуклідів	98
5.5. Оцінювання та прогнозування радіоактивного забруднення води	99

РОЗДІЛ 6.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ БІОТИ

6.1. Антропоцентрична та екоцентрична концепція щодо моніторингу біоти	103
6.2. Шляхи формування дози опромінення у різних представників біоти	106
6.2.1. Надходження радіоактивних речовин у рослини ..	106
6.2.2. Надходження радіонуклідів до організму тварин і людини	108
6.3. Організація спостережень за станом біоти на забруднених радіонуклідами територіях	114

РОЗДІЛ 7.

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

СФЕРИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

7.1. Мета і завдання радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва	124
7.2. Об'єкти радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва	126
7.3. Структура системи радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва	131
7.4. Складові радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва	131
7.4.1. Оцінка потужності γ -випромінювання	133
7.4.2. Визначення щільності радіонуклідного забруднення сільськогосподарських угідь	133
7.4.3. Відбирання проб для радіометрії	134
7.5. Оптимізація відбору і вимірювань проб при радіоекологічному моніторингу	144

РОЗДІЛ 8.**ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО****МОНІТОРИНГУ В УКРАЇНІ І В СВІТІ 150**

- 8.1. Організації, що здійснюють
радіоекологічний моніторинг в Україні 152
- 8.2. Організація моніторингу за станом 158
навколишнього середовища на території 158
зони відчуження Чорнобильської АЕС 158
- 8.3. Інтеграція України в міжнародну систему
радіоекологічного моніторингу 162
- 8.4. Міжнародні рекомендації з питань радіоекологічного
моніторингу навколишнього середовища
й опромінення населення 164
- 8.5. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів у кормах,
сировині, харчових продуктах та питній воді
в Європейському співтоваристві, Україні
та інших країнах 171
- 8.6. Сучасна радіоекологічна ситуація в Україні 176

ПІСЛЯМОВА 183**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 185**

ПЕРЕДМОВА

Природні зміни у стані довкілля вже здавна спостерігаються та вивчаються існуючими в багатьох країнах, у тому числі і в Україні, кліматичними, гідрометеорологічними, геофізичними та деякими іншими службами. Проте для того, щоб помітити певні зміни на фоні різних природних та антропогенних явищ, виявити закономірності їхнього проявлення, а головне – прогнозувати, передбачати такі зміни, виникла потреба в організації спеціальних систематичних досліджень за станом довкілля. З метою забезпечення функціонування системи таких спостережень та контролю навколишнього середовища, яка дає можливість виявити зміни, спричинені антропогенною діяльністю, потрібна детальна інформація про природні коливання та зміни у довкіллі. Для цього організовані спеціальні служби моніторингу, завданням яких є отримання такої інформації.

У статті 50 «Конституції України» від 1996 р. говориться: «Кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення. Така інформація ніким не може бути засекречена».

Відповідно до «Стратегії Державної екологічної політики України на період до 2020 р.» одним із інструментів її реалізації є моніторинг стану довкілля та контроль у сфері охорони навколишнього середовища і забезпечення екологічної безпеки.

При цьому моніторинг розглядається як керований процес, завданням якого є відповідний (постійний, періодичний, циклічний) контроль динаміки основних процесів – фізичних, хімічних, біологічних та інших у природних умовах і за антропогенного навантаження. Такий підхід дає змогу поєднати окремі елементи природного середовища в єдину систему, розробити спеціальний моніторинг радіаційного стану флори, фауни, людини та отримати цілісне уявлення про стан біосфери.

Збільшення рівнів радіаційного навантаження на навколишнє середовище зумовило необхідність проведення радіоекологічного моніторингу, реалізація якого може бути умовно розділена на два підходи: радіаційний моніторинг за нормальних умов, що не є якоюсь принципово новою системою, та не потребує організації мережі нових станцій спостереження, ліній та телекомунікацій, центрів обробки даних та інших служб, і моніторинг аварійних територій, забруднених внаслідок аварій на об'єктах ядерно-паливного циклу (ЯПЦ), для контролю над якими створюються мережі спеціалізованих моніторингових пунктів. Він входить складовою частиною до загальної системи спостереження та контролю стану довкілля, що давно функціонує в ряді держав.

Фактично радіоекологічний моніторинг на території колишнього СРСР, у тому числі і в Україні, почав здійснюватися після великої радіаційної аварії на Південному Уралі у 1957 р. в Челябінській області біля міста Киштим на підприємстві з виробки ^{239}Pu для ядерної зброї. Але особливу актуальність і значення він набув у нашій країні після аварії на Чорнобильській АЕС. За офіційною оцінкою 1986 р. під час цієї аварії, найбільшої за всю історію розвитку ядерної енергетики, яка одержала статус глобальної катастрофи, на висоту до 7 км було викинуто більше 5×10^{18} Бк суміші радіоактивних ізотопів у вигляді аерозолі (без урахування радіоактивних інертних газів). За оцінками Наукового комітету Організації Об'єднаних Націй із впливу атомної радіації у навколишнє середовище надійшло $8,5 \times 10^{16}$ Бк ^{137}Cs , приблизно 4×10^{15} Бк ^{90}Sr і більше ніж $3,6 \times 10^{15}$ Бк ізотопів трансуранових елементів – $^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am , $^{242-244}\text{Cm}$. Площею, на якій радіонуклідне забруднення за ^{137}Cs зі

щільністю понад 37 кБк/м^2 , опинилась територія приблизно 150 тис. км^2 на стику України, Білорусі й Росії, де проживає й тепер понад 6 мільйонів людей. Майже 360 тисяч із них були евакуйовані й виселені з забруднених територій на постійне мешкання інші регіони. В Україні з господарського вжитку були виведені землі площею понад 4500 км^2 . Радіоактивного забруднення за ^{137}Cs зі щільністю понад 37 кБк/м^2 (1 Кі/км^2 – межа, що розділяє забруднені й умовно чисті території) зазнали 1,2 млн. га сільськогосподарських

угідь у 74 районах 12 областей країни. Наразі потребують реабілітації й повернення до господарського використання за призначенням 130,6 тис. га сільськогосподарських угідь.

Згідно з Положенням про державну систему моніторингу довкілля, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України № 391 від 30 березня 1998 р., радіаційно-екологічний моніторинг території є невід'ємною складовою частиною державної системи моніторингу. Його проведення обов'язкове за будь-яких умов, визначається законодавством та відомчими нормативними документами. Питання оперативної оцінки радіаційного стану об'єктів довкілля та прийняття рішень щодо мінімізації негативних наслідків впливу радіоактивного забруднення на ці об'єкти, в тому числі й людину та інші живі організми, гостро стоїть і сьогодні, через багато років у так званий віддалений період після аварії на Чорнобильській АЕС.

Основними і потенційними джерелами радіоактивного забруднення в мирний час є атомні електростанції, підприємства ядерно-паливного циклу, підприємства з переробки ядерних відходів, місця захоронення відходів, джерела іонізуючого випромінювання, що використовуються у промисловості, медицині тощо.

Зараз в Україні на 4-х АЕС працюють 15 енергетичних ядерних реакторів. Значна частина ядерних реакторів Європи (а їх понад 150) знаходиться в межах можливої трансграничної дії аварійної ситуації. Величезна кількість радіонуклідів (близько 800 ПБк) усе ще знаходиться в об'єкті «Укриття» у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. У медицині, промисловості, наукових закладах України використовуються декілька десятків тисяч радіоактивних джерел. Незважаючи на великі зусилля з підвищення безпеки експлуатації ядерних реакторів та інших ядерних об'єктів, усі вони є потенційними джерелами радіаційної небезпеки й можливого радіоактивного забруднення навколишнього середовища.

У нашій державі радіоекологічний моніторинг проводиться підрозділами таких Міністерств: з питань надзвичайних ситуацій (МНС), охорони здоров'я (МОЗ), аграрної політики і продовольства (Мін-агрополітики), екології та природних ресурсів України (Мінприроди),

а також Держкомлісгоспом, Держводгоспом, Державною агенцією з керування зоною відчуження (ДАЗВ), Державним підприємством «Національна атомна енергогенеруюча компанія «Енергоатом», та деякими науково-дослідними інститутами, лабораторіями зовнішньої дозиметрії підприємств ядерно-паливного циклу тощо.

Разом з тим, реформування міністерств і відомств, трансформація соціально-економічних і трудових відносин, зміна умов господарювання потребують удосконалення і розвитку єдиних методологічних засад, нормативної бази та сучасних методів радіо-екологічного моніторингу забруднених радіонуклідами територій. Рівні радіоактивного забруднення навколишнього середовища та інтенсивність випромінювання, які визначають ступінь впливу іонізуючої радіації на людину та інші організми, змінюються в просторі й часі, що зумовлює необхідність оптимізації підходів та удосконалення пріоритетів радіоекологічного контролю з метою підвищення його ефективності, якості, узгодження та гармонізації з новими економічними та соціальними умовами.

Враховуючи те, що з часом саме забруднені радіоактивними речовинами ґрунти, сільськогосподарські угіддя стають основними джерелами подальшої тривалої міграції радіонуклідів трофічними ланцюгами, а виробництво і споживання продукції рослинництва й тваринництва зумовлює основний шлях їхнього надходження до організму людини, особливу актуальність набуває моніторинг радіаційної ситуації в агропромисловому комплексі.

Цей навчальний посібник підготовлений для магістратури зі спеціальності екологія. Зважаючи на те, що слухачі вже пройшли курси радіобіології та радіоекології, основи цих наук, зокрема розділів, що стосуються радіометрії, дозиметрії, дії іонізуючої радіації на живі організми та деякі інші тут не розглядаються.

Передмова до навчального посібника, розділ 1, підрозділи 2.1-2.4, 3.1-3.3, 4.1-4.4, розділ 5 та післямова підготовлені І.М. Гудковим; підрозділи 3.4-3.8, 4.5-4.8, 6.1-6.2 та розділ 7 – В.О. Кашпаровим; підрозділи 2.5-2.7, 6.3-6.4 та розділ 8 – О.Ю. Паренюком.

РОЗДІЛ 1. МОНІТОРИНГ. ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

- 1.1. Основні визначення і поняття. 1.2. Об'єкти, предмети та види моніторингу.
1.3. Екологічний моніторинг. 1.4. Цілі та завдання екологічного моніторингу.
1.5. Основні положення екологічного моніторингу.

Хоча термін «моніторинг» з'явився у спеціальній науковій літературі 70-80-х років минулого століття, це слово відсутнє в тодішніх україномовних і російськомовних словниках та енциклопедичних виданнях. Є слово «монітор» (від лат. *monitor*, буквально – той, що наглядає, контролює, нагадує, попереджає), за одним з найвідоміших визначень – це прилад для контролю певних параметрів, котрі мають зберігатися у заданих межах, наприклад, рівня радіоактивного забруднення, радіаційного випромінювання у певному приміщенні, на певній території.

1.1. Основні визначення і поняття

Поняття «глобальна система моніторингу навколишнього середовища» (global environmental monitoring system – GEMS) вперше запропонував канадський вчений професор Р.Е. Манн на Стокгольмській конференції ООН з навколишнього середовища (Стокгольм, 5-16 червня 1972 р.). Воно досить швидко отримало міжнародне визнання і розповсюдження. Перші пропозиції з приводу такої системи були розроблені експертами спеціальної комісії SCOPE (Науковий комітет з проблем довкілля) в 1979 р. Саме тоді було запропоновано називати моніторингом систему повторних спостережень одного чи більшої кількості елементів довкілля у просторі та часі з визначеною метою і відповідно до заздалегідь підготовленої програми. Проте моніторинг – це не лише нове означення завдань уже давно працюючих гідрометеорологічних та геофізичних служб, він належить до системи, створеної для виявлення,

як правило, антропогенних ефектів у довкіллі з використанням інформації та деяких елементів існуючих служб спостережень за станом навколишнього середовища. Дуже скоро стало зрозумілим, що таке визначення звужує рамки змісту моніторингу і не дозволяє з усією повнотою розкрити його цілі та завдання.

Найновітніша «Екологічна енциклопедія» у 2-му томі, виданому в Україні у 2007 р., посилаючись на міжнародний стандарт ISO 4225-80, дає таке визначення цьому терміну, поняттю:

Моніторинг (англ. monitoring, від лат. *monitor* – той, що контролює) – *система тривалих спостережень, оцінювання, контролювання і прогнозування стану і змін будь-яких об'єктів, параметрів і процесів.*

Інші джерела дають цьому поняттю трактовку, яка дещо відрізняється від наведеної.

Моніторинг – комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичний контроль (стеження) за станом та тенденціями розвитку природних, техногенних та суспільних процесів.

Моніторинг – безперервний процес спостережень і реєстрації параметрів об'єкту в порівнянні із заданими критеріями.

Моніторинг – система збирання/реєстрації, зберігання й аналізу певної, як правило невеликої, кількості ключових (явних або непрямих) ознак/параметрів опису даного об'єкту для винесення висновку (судження) про поведінку/стан даного об'єкту в цілому. Тобто винесення судження про об'єкт у цілому на підставі аналізу невеликої кількості характерних для нього ознак.

Найближчий український еквівалент слова «моніторинг», що найповніше віддзеркалює його сутність, – це «відстеження». Терміни «контроль», «нагляд», «догляд», «пригляд», котрі іноді вказують як синоніми, мають все ж таки інше значення.

У СРСР, до якого у той час належала Україна, одним із перших теорію моніторингу навколишнього середовища почав розробляти академік РАН Юрій Антонієвич Ізраєль.

Уточнюючи визначення моніторингу навколишнього середовища, він зробив акцент не тільки на спостереженні, але й на прогнозі, вводячи у визначення терміну «моніторинг навколишнього середовища»

антропогенний фактор як основну причину змін. Моніторингом навколишнього середовища вчений називає систему спостережень, оцінки і прогнозу антропогенних змін стану навколишнього природного середовища. Саме в російськомовних наукових працях Ю.А. Израеля на початку 70-х років минулого століття з'являється цей термін. Однією з перших його праць з цієї проблеми слід вважати основоположну статтю «Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга», опубліковану в часопису «Метеорология и гидрология» у 1974 р. (№ 7. С. 3-8). Згодом термін «моніторинг», поняття «моніторинг навколишнього середовища» з'явилися і в працях українських учених.



Ю.А. Израель (1930-2014)

Тоді ж на початку 70-х років минулого століття Ю.А. Израелем була створена одна з перших класифікацій систем і підсистем моніторингу, які підрозділяються за різними ознаками:

- просторовим охопленням;
- об'єктами спостережень (абіотична компонента: атмосферне повітря, води суходолу і морів, ґрунти, геологічне середовище; біотична компонента: рослинний і тваринний світ, жива природа на територіях, що охороняються, людина; фізичні фактори дії: іонізуючі випромінювання, неіонізуючі випромінювання, теплове випромінювання, шуми, вібрація);

- методами (пряме інструментальне вимірювання, дистанційна зйомка, непряма індикація, опитування, щоденникові спостереження);
- ступенями відношення ефекту і процесу, за якими проводяться спостереження;
- типами дії (географічна, біологічна, медико-географічна, соціально-економічна, громадська).

Тут не можна не згадати, що під час аварії на Чорнобильській АЕС Ю.А. Ізраель, будучи головою Державного комітету з гідрометеорології СРСР, керував роботами з моніторингу радіоактивного забруднення навколишнього середовища, на підставі яких приймалися рішення щодо мінімізації наслідків аварії у різних сферах господарювання і радіаційної безпеки, зокрема, про евакуацію населення та відчуження непридатних для проживання територій. Саме Ю.А. Ізраель, разом з академіком Л.А. Ілліним, служби яких уже на початку травня 1986 р. провели попередню оцінку можливої дії на населення очікуваних доз іонізуючої радіації на основі прогнозу радіонуклідного забруднення територій, водних та інших об'єктів поблизу місця аварії, зробили висновки про відносно безпечну ситуацію для мешканців міста Київ і про відсутність необхідності тимчасового відселення столиці з 2,5-мільйонним населенням. Наступні роки показали правильність цього рішення.

1.2. Об'єкти, предмети та види моніторингу

Об'єкти, предмети та види моніторингу визначаються функціями, цілями та завданнями органів управління, а також станом науково-методичної, організаційно-правової та інформаційної бази його проведення.

Об'єкти, предмети та організацію моніторингу можна групувати виходячи з ряду певних ознак. Наприклад, за загрозами стійкості процесів та явищ (стійкі; нестійкі; такі, що є потенційно небезпечними; такі, що реально загрожують у даний момент та інше); за можливістю дії на них з боку окремих структур і суспільства в цілому, його органів влади та інститутів управління.

Моніторинг може бути спрямований на процеси й явища, котрі спостерігаються на глобальному, континентальному, національно-державному рівнях, а також на рівні окремих територій, регіонів, областей, районів, міст та інших населених пунктів. Так, багатьма міжнародними організаціями систематично проводиться моніторинг геополітичних змін, розвитку культури, охорони навколишнього середовища, охорони здоров'я населення та худоби у більшості країн світу на всіх континентах. Багаторічні систематичні спостереження за метеорологічними процесами дають можливість складати відповідні прогнози щодо кліматичних і погодніх змін, підвищень сонячної активності, виникнення магнітних бур та прийняти відповідні міри. Моніторинг хвороб великої рогаатої худоби в Європі дозволив знизити ризик розповсюдження деяких епізоотій на інші країни й континенти.

Національні системи моніторингу України приймають участь у проведенні багатьох глобальних спостережень, надають міжнародним організаціям відповідну інформацію, а також використовують одержані матеріали.

Методологічно, моніторинг – це проведення низки однотипних замірів досліджуваного об'єкта та подальший аналіз, оцінка, порівняння отриманих результатів для виявлення певних закономірностей, тенденцій, змін їх динаміки.

Основними напрямками моніторингу на сучасному етапі розвитку суспільства є: екологічний, економічний, суспільно-політичний, соціально-демографічний, науково-технічний, медико-біологічний, громадський. Серед них важливе місце займає екологічний моніторинг.

1.3. Екологічний моніторинг

Екологічний моніторинг, екомоніторинг, моніторинг навколишнього середовища, моніторинг довкілля (англ. environmental monitoring) – це комплексна науково-інформаційна система регламентованих періодичних безперервних, довгострокових спостережень, оцінки і прогнозу змін стану природного середовища з

метою виявлення негативних змін і вироблення рекомендацій з їх усунення або ослаблення.

У згадуваній раніше «Екологічній енциклопедії» (т. 2, К., с. 315-316) дається дещо інше визначення, а саме:

«Екологічний моніторинг – система спостережень, збирання, опрацювання, передавання, аналізу, прогнозування і збереження інформації про стан навколишнього природного середовища та зміни його природних і природно-антропогенних комплексів, ресурсів і процесів з метою раціонального природокористування і природовідтворення».

В принципі, обидва визначення правильні і достатньо повно віддзеркалюють суть цього поняття.

Екологічний моніторинг виник на стику екології, біології, географії, геології та деяких інших природничих наук. Він ґрунтується на загальних екологічних законах і принципах, застосовує загальнонаукові методи досліджень (аналіз, синтез, узагальнення, статистична обробка інформації, моделювання тощо), а також різні методи одержання первинної і вторинної інформації про хімічні, фізичні та біологічні властивості компонентів довкілля.

Предметом екологічного моніторингу є організація та функціонування системи оцінювання та прогнозування стану екологічних систем, їхніх елементів, біосфери, а також характеру впливу на них природних та антропогенних факторів.

Об'єктами екологічного моніторингу залежно від рівня, цілей, завдань, методів і масштабів досліджень можуть бути окремі сфери навколишнього середовища (атмосфера – повітря, гідросфера – підземні та поверхневі води, літосфера – ґрунти), їхні окремі компоненти або біосфера в цілому); території (регіони, райони, ландшафти, басейни річок тощо); галузі виробництва й об'єкти людської діяльності (промисловості, енергетики, транспорту, сільського господарства, військової діяльності, а також відходи різних сфер діяльності); процеси діяльності (екологічні управління, політика, освіта, нормування, підприємство тощо); несприятливі природні процеси (ерозія, зсуви, карст та інші).

1.4. Цілі та завдання екологічного моніторингу

Залежно від цілей і методології виділяють різні види екологічного моніторингу.

Залежно від цілей:

Інформаційний моніторинг полягає у структуризації, накопиченні та розповсюдженні інформації.

Базовий моніторинг (фоновий) виявляє нові проблеми, небезпеку, тенденції до того, як вони стануть осмисленими на рівні управління. За об'єктом моніторингу встановлюється постійне спостереження з періодичним вимірюванням показників.

Проблемний моніторинг передбачає з'ясування закономірностей, процесів, небезпек, проблем, які вже відомі, та розуміння, усунення, коригування яких є важливим з погляду управління.

Загальний (стандартний) моніторинг – це оптимальні за кількістю параметрів спостереження в пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, котра дає змогу на основі оцінки й прогнозування радіаційного стану навколишнього середовища регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях.

Кризовий (оперативний) моніторинг – це інтенсивні спостереження за об'єктами, джерелами радіоактивного впливу, розташованими у зонах аварій із шкідливими наслідками, з метою забезпечення своєчасного реагування на кризові та надзвичайні ситуації та прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення нормальних умов для життєдіяльності населення та господарювання.

Науковий (фоновий) моніторинг складається зі спеціальних високоточних спостережень за радіаційним фоном та радіонуклідним забрудненням окремих об'єктів навколишнього середовища.

Залежно від методології:

Динамічний моніторинг – аналізуються дані про динаміку розвитку або зміни об'єкта, явища чи певної характеристики. Це найпростіший спосіб моніторингу, який використовується для аналізу відносно простих систем і явищ: температури навколишнього середовища, кількості атмосферних опадів, часу сходу й заходу сонця

тощо. Основною метою такого дослідження є встановлення тенденцій і, не завжди, – виявлення їх причин чи передумов.

Конкурентний моніторинг – паралельно, за єдиною методологією, досліджуються одна, декілька чи низка ідентичних або подібних систем. Дає можливість оцінити і порівняти показники систем, виявити різницю між ними, встановити переваги та недоліки.

Порівняльний моніторинг – порівнюються окремі показники або результати комплексніших досліджень кількох систем одного рівня або вищих і нижчих систем, проведених за ідентичними критеріями. Такий підхід дає можливість рандомізувати показники, виявити причини, що збільшують або зменшують різницю між ними.

Комплексний моніторинг – поєднує в собі методи дослідження, які використовуються у різних видах моніторингів.

У технічній діагностиці під моніторингом розуміють безперервний процес збирання та аналізу інформації про значення діагностичних параметрів стану об'єкта.

Моніторинг параметрів – це спостереження за деякими параметрами. Результатом моніторингу параметрів є сукупність вимірних значень, що отримуються в нерозривно послідовних один за одним інтервалах часу, протягом яких значення параметрів суттєво не змінюються.

Моніторинг стану – це спостереження за станом об'єкта для визначення і прогнозу моменту переходу його у крайній стан. Результатом моніторингу стану об'єкта є сукупність показників складових його суб'єктів, що отримуються в нерозривних один до одного інтервалах часу, протягом яких значення параметрів суттєво не змінюються. Принциповою відмінною моніторингу стану від моніторингу параметрів є наявність інтерпретатора вимірних параметрів у термінах стану – експертної системи підтримки прийняття рішень про стан об'єкту й подальше управління.

Моніторинг критично важливих і небезпечних об'єктів – процес інструментального автоматизованого цілодобового спостереження за окремими параметрами об'єктів. *Метою такого моніторингу є попередження надзвичайних ситуацій чи пошкодження або руйнування об'єктів.* Основною відмінною цього виду моніторингу

є те, що у його процесі відстежуються деформації та зсуви об'єкту й окремих його елементів, що дозволяє попередити настання негативної події, а не лише проінформувати екстрені служби про надзвичайну подію, що трапилася. Моніторинг здійснюється за допомогою оптичних, лазерних та геофізичних методів та інструментів.

Основними завданнями екологічного моніторингу є:

- спостереження за станом біосфери, оцінка і прогноз її стану;
- визначення ступеня антропогенного впливу на навколишнє середовище;

- виявлення факторів і джерел впливу;

- прогнозування можливих змін у стані навколишнього середовища.

Система екологічного моніторингу будується на принципах:

- об'єктивності й достовірності;

- систематичності спостережень за станом навколишнього природного середовища;

- багаторівневості;

- узгодженості нормативного та методичного забезпечення;

- узгодженості технічного та програмного забезпечення;

- комплексності в оцінці екологічної інформації;

- оперативності проходження інформації між окремими ланками системи;

- відкритості інформації для населення.

Екологічний моніторинг прийнято класифікувати на: фоновий (базовий); глобальний і регіональний; імпактний, екосистемний і компонентний. Деякі фахівці виділяють загальний, кризовий і фоновий екологічний моніторинг.

Кожний вид моніторингу передбачає обов'язкові *три етапи досліджень: спостереження, оцінка екологічної ситуації, прогнозування екологічних умов.*

Види моніторингу відрізняються не лише площею охоплення, а й методами спостережень, програмами, мережею, об'єктами, частотою і точністю спостережень.

Екологічний моніторинг є надзвичайно важливим компонентом екологічного контролю, з якого починається *аудит екологічний, експертиза екологічна*, будь-яка екологічна оцінка, він є факто-

графічною основою розробки *політики екологічної*. В усіх розвинутих країнах функціонують системи екологічного моніторингу з розгалуженими мережами пунктів спостережень і автоматизованими центрами збирання та обробки екологічної інформації, які використовують геоінформаційні технології і супутникове забезпечення, можливості активного міжнародного обміну інформацією для гарантування *безпеки екологічної* як окремих регіонів, так і планети в цілому.

1.5. Основні положення екологічного моніторингу

В Україні розробку систем екологічного моніторингу (СЕМ «Україна») започатковано у 1992 р. під егідою Міністерства охорони навколишнього природного середовища (Мінприроди). У 1993 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Положення про державний моніторинг навколишнього середовища». У 1998 р. прийнято нове «Положення про Державну систему моніторингу довкілля (ДСМД)», затверджене постановою Кабінету Міністрів від 30 березня 1998 р. за № 391. Згідно з цим документом суб'єктами ДСМД в Україні є Мінприроди, Міністерство надзвичайних ситуацій, Міністерство охорони здоров'я, Міністерство аграрної політики та продовольства, Держкомлісгосп, Держводгосп, Держкомзем, Держбуд, Геологічна служба.

Система екологічного моніторингу потребує створення ефективної мережі об'єктів спостережень за станом компонентів довкілля, визначення методів і показників, попереднього районування території за природно-економічними особливостями. Здійснюючи екологічний моніторинг, головну увагу приділяють найхарактернішим ознакам екосистем, що дають змогу виявити основні тенденції їх змін під антропогенним впливом.

Одним із перспективних є біоекологічний моніторинг, а саме – оцінка особливостей і рівня забруднень довкілля за допомогою біотестування – вивчення реакцій *біоіндикаторів* (рослин чи тварин) на забруднення довкілля.

Набуває розвитку соціально-екологічний моніторинг.

З 1974 р. функціонує *глобальний екологічний моніторинг*, який передбачає систематичне вивчення довкілля за єдиними правилами та уніфікованими методиками на 8-ми континентальних, 77-ми базових і 66-ти біосферних регіональних станціях, розташованих у різних точках Землі. У процесі такого моніторингу вивчають і прогнозують зміни природних процесів (кліматичні, геологічні), контролюють енергетичний і тепловий баланс Землі, рівні різних типів радіації, вуглекислого газу і кисню у тропосфері, глобальне підвищення забруднення атмосфери, Світового океану, міграцію тварин, виникнення і динаміку екологічних катастроф, наслідки стихійних лих, епізоотій, епідемій, воєн.

Розглядаючи основні завдання Глобальної системи моніторингу довкілля (ГСМД) саме в аспекті виявлення змін стану довкілля за рахунок антропогенного впливу, слід відмітити, що окремі з них виконуються різними органами. Так, роботи по виявленню та попередженню стихійних лих метеорологічного чи гідрологічного характеру проводяться існуючими службами, а роботи по попередженню хвороб – відповідними службами охорони здоров'я та інше. Звичайно, ці служби повинні розвиватись, але навряд чи доцільно об'єднувати їх до єдиної системи моніторингу.

Варто відзначити, що система екологічного моніторингу антропогенних змін природного середовища не є принципово новою системою, що потребує організації мережі нових станцій спостереження, ліній та телекомунікацій, центрів обробки даних. Вони входять складовою частиною в універсальну систему спостереження та контролю стану довкілля, систему, що давно вже розвивається в ряді держав.

Таким чином, система моніторингу забруднень може та й повинна бути частиною вже існуючої служби спостереження та контролю стану довкілля, використовувати її досвід, систему станцій спостережень (з додаванням необхідних нових елементів), ліній телекомунікацій і центрів обробки даних з розвитком деяких елементів.

В залежності від критеріїв виділяють такі види екологічного моніторингу:

– *біоекологічний* (санітарно-гігієнічний) моніторинг полягає у спостереженні за станом і впливом навколишнього середовища на здоров'я людини з метою захисту її від негативних чинників;

– *геоекологічний* (геосистемний, природньо-господарський) моніторинг – це спостереження за змінами природних екосистем і за перетворенням їх на природно-технічні системи, а також моделювання та прогнозування стихійних змін навколишнього середовища та явищ, які погіршують життєве середовище людей;

– *літомоніторинг* – спостереження за станом геологічного середовища;

– *біосферний* (глобальний) моніторинг – це спостереження за природними процесами і явищами на рівні біосфери, а також через з'ясування глобальних змін фонових показників у природі;

– *геофізичний* моніторинг – це система спостереження за природними та штучними геофізичними полями та явищами, а також спостереження, аналіз та прогнозування забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами;

– *кліматичний* моніторинг – це спостереження за станом кліматичної системи (атмосфера – океан – літосфера – криосфера – біота) та оцінка і прогнозування можливих змін клімату;

– *біологічний* моніторинг – це контроль стану навколишнього природного середовища за допомогою живих організмів;

– *супутниковий* моніторинг використовує дистанційні (незбурювальні, невторгальні) методи і дозволяє за космічними знімками стежити за змінами, що відбуваються на поверхні Землі та в атмосфері.

Залежно від призначення здійснюється загальний, кризовий та фоновий моніторинг:

– *загальний* (стандартний) *моніторинг* навколишнього природного середовища – це оптимальні за кількістю параметрів спостереження в пунктах, об'єднаних в єдину інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на основі оцінки й прогнозування стану навколишнього середовища регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях;

– *оперативний* (кризовий) *моніторинг* навколишнього природного середовища – це інтенсивні спостереження за природними

об'єктами, джерелами техногенного впливу, розташованими в районах екологічної напруженості, у зонах аварій та природних явищ із шкідливими екологічними наслідками, з метою забезпечення своєчасного реагування на кризові та надзвичайні екологічні ситуації і прийняття рішень щодо їх ліквідації, створення нормальних умов для життєдіяльності населення та господарювання;

– *фоновий (науковий) моніторинг* навколишнього природного середовища – це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими навколишнього середовища, а також за характером, складом, колообігом та міграцією забруднювальних речовин, за реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери в цілому, котрі здійснюються в природних та біосферних заповідниках, на інших територіях, що охороняються, на базових станціях.

Усі класифікації систем екологічного моніторингу достатньо умовні. В основному за масштабами узагальнення інформації виділяють:

– *глобальний (біосферний) моніторинг*, який передбачає стеження за загальносвітовими процесами й явищами у біосфері та здійснення прогнозу можливих змін;

– *національний моніторинг* – передбачає стеження спеціально створеними органами у межах держави;

– *регіональний моніторинг* – охоплює окремі регіони, в межах яких мають місце процеси і явища, котрі відрізняються за природним характером чи антропогенними діями від загального базового фону;

– *локальний моніторинг* – передбачає здійснення спостережень в особливо небезпечних зонах і місцях, які безпосередньо примикають до джерел забруднюючих речовин чи факторів.

Екологічний моніторинг включає в себе такі основні напрямки діяльності:

– спостереження за факторами, які впливають на довкілля та його стан;

– оцінка фактичного стану природного середовища;

– прогноз стану навколишнього природного середовища та оцінка цього стану.

Система екологічного моніторингу може обіймати як локальні райони, так і земну кулю в цілому (глобальний екомоніторинг). Основною особливістю системи глобального моніторингу є можливість на основі даних цієї системи оцінити стан біосфери в глобальному масштабі.

Національним екологічним моніторингом слід вважати систему моніторингу в межах однієї держави; така система відрізняється від глобального моніторингу не тільки масштабами, але й тим, що основним завданням національного моніторингу є отримання інформації й оцінка стану довкілля в національних інтересах. Так, підвищення рівня забруднення атмосфери якоюсь речовиною в окремих містах чи промислових районах може не мати суттєвого значення для оцінки стану біосфери в глобальному масштабі, але є важливим фактором для вживання заходів у даному районі, заходів на національному рівні.

Звичайно, глобальна система моніторингу повинна базуватись на підсистемах національного моніторингу, включати елементи цих підсистем (немає необхідності включати в глобальну систему повністю ці підсистеми, так як в їх компетенцію входять і національні питання).

Інколи застосовується термін «трансграничний», «міжнародний», моніторинг. Доцільно вживати цей термін для системи моніторингу, що використовується в інтересах декількох держав при розгляді питань трансграничного переносу забруднень між державами.

Отже, екологічний моніторинг є багатоцільовою інформаційною системою. Його основні задачі: спостереження за станом біосфери, оцінка та прогноз її стану; визначення інтенсивності антропогенного впливу на довкілля, виявлення факторів та джерел такого впливу, а також інтенсивності їх впливу.

Прогноз стану навколишнього середовища можливий лише при наявності репрезентативної інформації про фактичний стан. Побудова прогнозу, з одного боку, має на увазі знання закономірностей зміни стану природного середовища, наявність схеми і можливостей чисельного розрахунку, з другого – направленість прогнозу

значною мірою повинна визначати структуру і склад системи, що спостерігається (зворотній зв'язок).

Дані, які характеризують стан природного середовища, отримані в результаті спостережень або прогнозу, повинні оцінюватися в залежності від того, в якій галузі людської діяльності вони застосовуються (за допомогою спеціально обраних критеріїв). Оцінка має на меті з одного боку – визначення збитків від впливу, з іншого – вибір оптимальних умов для людської діяльності та уточнення існуючих екологічних резервів. Метою таких оцінок є визначення допустимих антропогенних навантажень на довкілля.

Інформаційно-геофізичні системи, як і інформаційна система моніторингу антропогенних змін, є складовою системи керування, взаємодії людини з навколишнім середовищем (система керування станом довкілля), тому що інформація про існуючий стан довкілля та тенденції його зміни повинні бути покладені в основу розробки заходів з охорони природи та враховуватись при плануванні розвитку економіки. Результати оцінки існуючого і прогнозованого станів біосфери в свою чергу дають можливість визначити вимоги до підсистеми спостережень, що і є науковим обґрунтуванням екологічного моніторингу, обґрунтуванням складу і структури його мережі та методів спостережень).

Нарешті, за просторово-часовими підходами екологічний моніторинг може бути *наземним* (контактним) і *дистанційним* (авіаційним, космічним).

Таким чином, екологічний моніторинг – це система спостережень, оцінки та прогнозу стану довкілля, яка не передбачає управління якістю навколишнього середовища, прогнозом його стану з метою попередження його погіршення. Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього середовища необхідною умовою є організація спеціальної системи диференційованого моніторингу, до якої можна віднести радіоекологічний моніторинг.

Контрольні запитання до розділу 1:

1. *Визначення поняття «моніторинг» та його мета.*
2. *Що включає поняття «критично важливі і небезпечні об'єкти навколишнього середовища»?*
3. *Що розуміється під поняттям «моніторинг параметрів»?*
4. *Що означає поняття «моніторинг стану»?*
5. *Види моніторингу залежно від цілей.*
6. *Види моніторингу залежно від методології.*
7. *Визначення поняття «екологічний моніторинг».*
8. *Об'єкти екологічного моніторингу.*
9. *Завдання екологічного моніторингу.*
10. *Види екологічного моніторингу залежно від критеріїв.*
11. *Види екологічного моніторингу залежно від призначення.*
12. *Види екологічного моніторингу за масштабами узагальнення інформації.*
13. *Класифікація екологічного моніторингу.*
14. *Три основних етапи досліджень при екологічному моніторингу.*

РОЗДІЛ 2. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ЯК СКЛАДОВА ЧАСТИНА ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ

2.1. Основні визначення та поняття. 2.2. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища. 2.3. Цілі та завдання радіоекологічного моніторингу. 2.4. Складові радіоекологічного моніторингу. 2.5. Комплексний радіоекологічний моніторинг. 2.6. Методологія радіаційного контролю та радіоекологічного моніторингу. 2.7. Організація та функціонування системи радіоекологічного моніторингу.

У науковій літературі можна зустріти три назви моніторингу, в основі яких лежить корінна частка «радіо-»: радіологічний моніторинг, радіаційний моніторинг і радіоекологічний моніторинг.

Радіологічний і радіаційний моніторинг, що в даному контексті практично одне і теж, стосується, як правило, «косних» – неживих об'єктів навколишнього середовища. Наприклад, в геології радіаційному моніторингу в першу чергу піддаються ґрунтові породи, окремі мінерали та хімічні елементи, поклади різних руд, нафти, газу та інші корисні копалини; у метеорології – повітря, атмосферні опади; у гідрології – поверхневі води, ґрунтові води, води морів та океанів.

При радіоекологічному моніторингу акцент робиться на стані живих організмів – рослин, тварин, людини та середовищі їх існування – атмосфері, ґрунті, воді. Безперечно, завдання названих типів моніторингу у значній мірі пересікаються і навіть можуть співпадати. Тому не дивно, що іноді їх плутають. І у цьому немає великої помилки.

2.1. Основні визначення і поняття

Згідно з «Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97)», *радіоекологічний моніторинг – це збір первинної інформації (вимі-*

рювання потужності поглиненої в повітрі дози, визначення вмісту радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, продуктах харчування, питній воді та ін.) з метою подальшого її використання для контролю радіаційно-гігієнічного та контролю дозиметричного.

Згідно з міжнародним глосарієм МАГАТЕ, радіоекологічний моніторинг – це вимірювання рівня дози або забруднення (радіоактивного забруднення) для оцінки або контролю за опроміненням у результаті впливу випромінювання або радіоактивних речовин, а також інтерпретація результатів.

Слово «вимірювання» застосовується тут дещо ширше. Під вимірюванням дози часто мається на увазі вимір величини еквівалента дози, що становить (в якості заміни) величину дози, яку можна виміряти безпосередньо. Крім того, як попередній захід при вимірюванні може застосовуватися відбір проб.

Радіоекологічний моніторинг також передбачає визначення впливу іонізуючого випромінювання на біоту. Зазвичай чітко розділяють проведення моніторингу в звичайних (нормальних) умовах і в аварійних (надзвичайних) ситуаціях. *Радіоекологічний моніторинг аварійний – це такий, що здійснюється з метою забезпечення інформацією, необхідною для прийняття рішення про втручання та визначення форми, масштабу і тривалості втручання.*

Як зарубіжні, так і вітчизняні видання, що регламентують діяльність у сфері радіоекологічного моніторингу, розмежовують поняття моніторингу джерел і моніторингу навколишнього середовища.

Радіаційний моніторинг джерел – це моніторинг окремого джерела іонізуючого випромінювання (радіаційна установка певного призначення – медичного, технологічного, наукового та іншого; радіаційно-ядерний об'єкт, джерело радіаційної небезпеки) або виду діяльності з такими джерелами. Згідно з НРБУ-97 джерело іонізуючого випромінювання (джерело випромінювання) – це об'єкт, що містить радіоактивну речовину, або технічний пристрій, який створює, або в певних умовах здатний створювати, іонізуюче випромінювання.

Радіоекологічний моніторинг навколишнього середовища – це методологія і практика вимірювань, спостережень, збору, обробки,

передачі, збереження та аналізу інформації про радіаційний стан довкілля (потужностей зовнішньої дози від джерел випромінювання чи концентрацій радіонуклідів у екологічних середовищах), прогнозування його змін і розробки науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень з метою запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог радіаційної безпеки. За роки після аварії на Чорнобильській АЕС утверджується розуміння визначної ролі такого моніторингу як елементу системи управління станом навколишнього середовища у випадку його техногенного забруднення.

Останнім часом особливу актуальність набула проблема оцінки ризику опромінення не тільки людини, але й інших організмів. Парадигма, згідно з якою вважалось, що «якщо захищена людина, то захищені й інші біологічні об'єкти» значно застаріла і на теперішньому етапі, згідно з рекомендаціями Міжнародної комісії з радіаційного захисту (МКРЗ) від 2008 р., *основним завданням радіоекологічного моніторингу має бути радіаційний захист не лише людини, але й інших організмів – радіаційний захист довкілля.*

Радіоекологічний моніторинг – це комплексна інформаційно-технічна система спостережень, досліджень, оцінювання й прогнозування радіаційного стану біосфери, територій поблизу АЕС та інших підприємств ядерного паливного циклу й об'єктів, потерпілих від ядерних та радіаційних інцидентів.

Радіоекологічний моніторинг є складовою загального екологічного моніторингу, у розвинутих країнах він є підсистемою екологічного моніторингу і передбачає спостереження за гамма-фоном та постійний радіологічний контроль небезпечних радіаційних об'єктів виробничо-господарської діяльності.

Автори цього навчального посібника відносять радіоекологічний моніторинг до спеціального виду моніторингу.

2.2. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища

Можна виділити шість основних джерел радіоактивного забруднення навколишнього середовища:

1. Природні радіоактивні ізотопи елементів, які супроводжують видобуток будь-яких корисних копалин з товщ земної кори.

2. Викиди термоелектростанцій, які містять природні радіоактивні ізотопи.

3. Підприємства ядерного паливного циклу, перші етапи якого (видобуток урану, збагачення енергоємного ізотопу, виготовлення твелів) є джерелами природних радіоактивних ізотопів, а наступні (робота атомних електростанцій, захоронення радіоактивних відходів та їх переробка) – джерелами штучних радіоактивних ізотопів.

4. Штучні радіоактивні ізотопи випробувань та використання ядерної зброї.

5. Побутові випадки з радіоактивними, як правило, штучними джерелами іонізуючих випромінювань.

6. Аварії на підприємствах ядерного паливного циклу, які є, як правило, джерелом штучних радіоактивних ізотопів.

Серед природних радіоактивних ізотопів основними дозоутворюючими для живих організмів, у тому числі для людини, є ізотопи радіоактивних елементів урану, торію, радону, радію, полонію, а також ізотопи нерадіоактивних елементів ^{40}K , ^{14}C , ^3H . Серед штучних – ізотопи ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{131}I та деяких трансуранових елементів, зокрема ^{239}Pu , ^{241}Am .

2.3. Цілі та завдання радіоекологічного моніторингу

Головними завданнями радіоекологічного моніторингу є:

– спостереження та контроль за станом забрудненої радіонуклідами території, води та повітря для контролю викидів і скидів, їх окремих особливо небезпечних частин та розробка способів зменшення небезпеки від забруднення;

– оцінка стану об'єктів природного середовища за параметрами, які характеризують радіоекологічну ситуацію як у зоні забруднення, так і за її межами;

– виявлення тенденцій у зміні стану радіоактивного забруднення навколишнього середовища у зв'язку з функціонуванням

небезпечних у радіаційному плані об'єктів, а також при реалізації радіозахисних заходів, що проводяться на забруднених територіях;

- з'ясування можливих тенденцій до змін у стані здоров'я населення, яке проживає на забруднених радіонуклідами територіях;

- інформаційне забезпечення прогнозу радіоекологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях та в країні загалом.

Радіоекологічний моніторинг, як і будь-який, реалізується у трьох основних напрямках, а саме: базовий (рутинний), кризовий (оперативний) і науковий (спеціальний, або прецизійний) моніторинг.

Базовий (рутинний) радіоекологічний моніторинг здійснюють за допомогою мережі пунктів спостережень, яка охоплює всю територію країни, включаючи служби радіаційного контролю на ядерному виробництві.

Кризовий (оперативний) радіоекологічний моніторинг формується на основі діяльності територіальних служб спостереження і контролю радіоекологічних параметрів навколишнього середовища на територіях, де виникли несприятливі радіаційні ситуації.

Науковий (прецизійний) радіоекологічний моніторинг реалізують координуючі структури на базі науково-дослідних закладів, які розробляють методи та програми радіоекологічних досліджень для прогнозування змін радіоекологічного стану.

В Україні після аварії на Чорнобильській АЕС здійснюється радіоекологічний моніторинг основних складових довкілля на різних територіальних рівнях за характерними лише для нашої держави показниками. На забруднених радіоактивними речовинами територіях проводиться радіоекологічний моніторинг таких об'єктів:

- територій навколо атомних станцій (за допомогою систем АСКРО);

- ландшафтно-геологічного середовища з метою отримання базової інформації для оцінювання та прогнозування загальної радіоекологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях і її впливу на екологічну ситуацію в Україні;

- поверхневих і підземних водних систем;

- природоохоронних заходів та споруд;

- локальних довгочасних джерел реального та потенційного забруднення (сховища відпрацьованого ядерного палива тощо);
- біоти.

2.4. Складові радіоекологічного моніторингу

До теперішнього часу на незабруднених радіонуклідами територіях України ще не створена повноцінна система радіоекологічного моніторингу. Окремі його складові представлені такими напрямками:

- моніторинг радіоактивних випадань з атмосфери;
- моніторинг водних ресурсів;
- радіаційний контроль сільськогосподарської продукції;
- контроль продукції лісу;
- контроль харчових продуктів;
- контроль будівельних матеріалів.

В принципі це і є основні складові радіоекологічного моніторингу, які охоплюють основні сфери навколишнього природного середовища і з боку яких може створюватися загроза опромінення населення. Однак ці окремі ланки існують ізольовано, вирішують, як правило, вузьковідомчі завдання і не зв'язані спільною методологією. Це знижує ефективність моніторингових робіт, змушує коло користувачів і врешті решт не забезпечує повноцінне виконання завдань радіоекологічного моніторингу.

Основою для створення радіоекологічного моніторингу є згадане у першому розділі «Положення про державну систему моніторингу довкілля». Цей документ містить основні принципи створення системи моніторингу взагалі та радіаційного чи радіоекологічного зокрема. Система радіоекологічного моніторингу повинна базуватися на принципах, викладених у цьому Положенні і стати складовою частиною загальнодержавної системи моніторингу.

У класичному баченні система радіоекологічного моніторингу – це система спостережень, збору, обробки, зберігання баз даних, передачі, аналізу інформації про радіаційний стан навколишнього природного середовища, прогнозування змін цього стану та роз-

робка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про попередження негативних змін радіаційного стану навколишнього середовища з метою виконання вимог екологічної безпеки умов проживання людини (рис. 2.1).

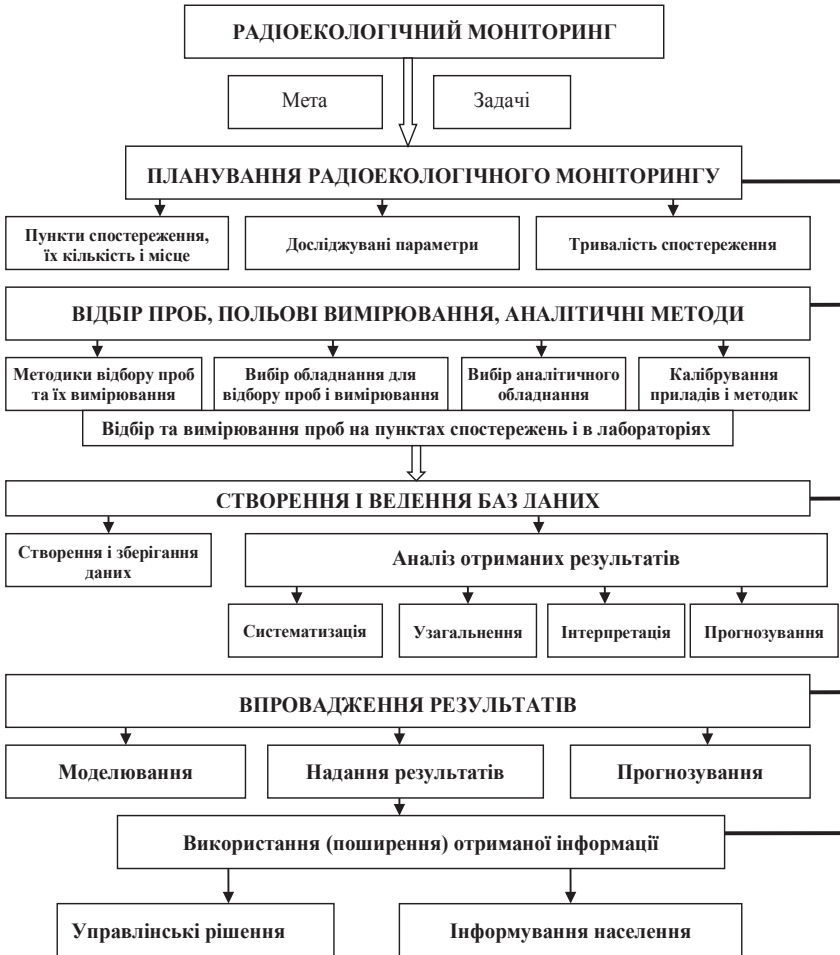


Рис. 2.1. Схема програми радіоекологічного моніторингу (М.Г. Бузин, 2009)

Система радіоекологічного моніторингу має охоплювати всі параметри, котрі визначають якість життя людини і безконфліктне співіснування його з навколишнім середовищем. Умовно систему радіоекологічного моніторингу можна класифікувати за територіальним та часовим принципами (рис. 2.2).

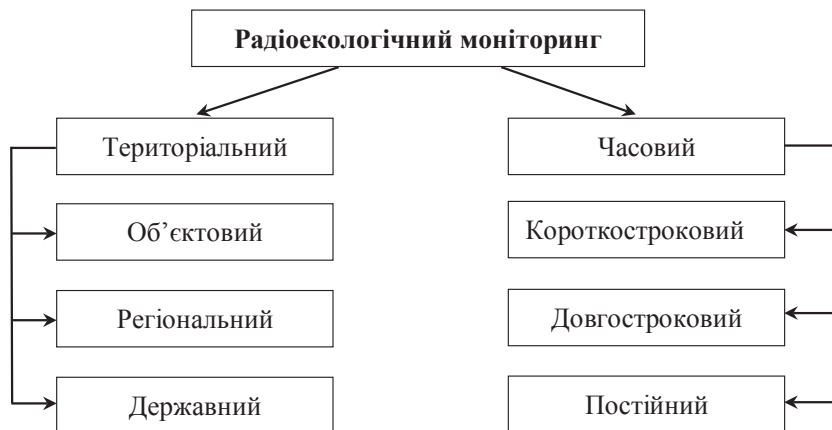


Рис. 2.2. Класифікація складових радіоекологічного моніторингу (Г.П. Перепелятніков, 2008)

Територіальний моніторинг залежно від контрольованої території поділяється на об'єктовий моніторинг (контроль на території об'єкта-забруднювача, наприклад, АЕС), регіональний моніторинг (контроль на рівні певного регіону – населений пункт, декілька населених пунктів, адміністративний район, область) і державний моніторинг (контроль на рівні всієї країни).

Об'єктовий моніторинг може у свою чергу поділятися на моніторинг виробничого процесу (наприклад, робота окремого енергоблоку на АЕС), території окремої ділянки на території об'єкта-забруднювача, території санітарної захисної зони.

Регіональний моніторинг проводиться при радіоактивному забрудненні частини території країни (регіону), а державний – при забрудненні всієї країни чи більшої її частини.

Часовий моніторинг залежно від тривалості спостережень поділяється на короткостроковий моніторинг (наприклад, при разовому забрудненні короткоживучим радіонуклідом – ^{131}I), довгостроковий моніторинг (наприклад, на територіях, забруднених довгоживучими штучними радіонуклідами ^{137}Cs і ^{90}Sr) і постійний моніторинг (наприклад, при забрудненні території деякими трансурановими і природними радіонуклідами з періодами піврозпаду у сотні і тисячі років).

Організація робіт, методологія їх проведення можуть суттєво відрізнятись при різних видах моніторингу. Обсяги проведення спостережень, а, відповідно, витрати на них також суттєво відрізняються залежно від цілей моніторингу, часу, величини контрольованої території, фізико-хімічних властивостей радіонуклідів.

2.5. Комплексний радіоекологічний моніторинг

Комплексний радіоекологічний моніторинг ґрунтується на інформації, отриманій внаслідок здійснення базових видів радіоекологічного моніторингу. Основними складовими його є ядерно-радіаційний моніторинг, радіогеохімічний моніторинг, моніторинг поверхневих водних систем, радіогідрогеологічний моніторинг.

Автоматизована система контролю радіаційної обстановки (АСКРО) забезпечує спостереження і контроль за станом потенційно небезпечних радіаційних об'єктів, до яких належать АЕС, а також об'єкт «Укриття». В Україні у межах програми технічної допомоги Європейського Союзу «TACIS» з 1994 р. формувалася система радіаційного моніторингу ГАММА. Реалізація першої стадії цього проекту передбачала створення мережі трьох постів радіаційного моніторингу на територіях навколо Рівненської, Запорізької та Ігналінської (Литва) АЕС.

Основними завданнями системи ГАММА було поставлено виявлення значних перевищень рівнів радіаційного фону на підконтрольних територіях, оповіщення відповідальних осіб про такі перевищення та забезпечення їх інформацією, необхідною для проведення захисних заходів.

Система ГАММА на території України мала включати національний інформаційно-кризовий центр (ІКЦ), розташований в Міністерство екології та природних ресурсів України, і два локальні центри (у містах Рівне та Запоріжжя). Окрім того, до складу системи входили 27 постів контролю потужності дози γ -випромінювання, встановлених у зоні Рівненської АЕС, 11 постів контролю потужності дози γ -випромінювання, встановлених у зоні Запорізької АЕС; один пост автоматичного контролю α - і β -активності аерозолів, розміщений на відстані 5 км від Рівненської АЕС; один автоматичний пост контролю γ -активності води на Рівненській АЕС; два автоматичні пости метеорологічного контролю – на Рівненській та Запорізькій АЕС.

Інформація про дози опромінення радіоканалами надходить від датчиків до локальних центрів, а далі спеціально виділеними телефонними каналами передається в національний центр.

У 1992-1997 рр. на п'ятому енергоблоці Запорізької АЕС було реалізовано пілотний проект системи дистанційного моніторингу АЕС. Його мета полягає в отриманні й передаванні в ІКЦ незалежної інформації про стан АЕС у реальному часі.

Європейський Союз у межах програми «TACIS» паралельно з системою ГАММА розробив і впровадив систему підтримки прийняття рішень у реальному часі при реагуванні на ядерні аварії – RODOS. Основними завданнями системи є забезпечення засобами для оброблення й управління великими об'ємами інформації метеорологічного та радіаційного характеру, оцінювання і прогнозування радіаційної ситуації, а також моделювання використання контрзаходів і варіантів дій у випадку аварії.

Таким чином, основним завданням АСКРО є контроль за станом ядерно-радіаційних об'єктів і напрацювання заходів для зниження ступеня їх шкідливості, оцінювання та прогнозування радіаційної обстановки на об'єктах природного середовища.

Моніторинг об'єктів інфраструктури у зоні відчуження забезпечується комплексною системою радіаційного моніторингу і раннього попередження (КСРМіРП). Ця розроблена, виготовлена і впроваджена корпорацією «Укратомприлад» за проектом TACIS

У4.01/05 з метою розширення функцій АСКРО Чорнобильської зони відчуження (ЧЗВ) і вдосконалення контролю і моніторингу стану навколишнього середовища в ЧЗВ і за її межами.

КСРМіРП – це дієвий інструмент для підтримки прийняття рішень у разі виникнення умов, небезпечних для здоров'я людини або навколишнього середовища, пов'язаних з погіршенням радіаційної обстановки в ЧЗВ, а також за її межами, він є первинним інструментом для управління ризиками та безпекою і одним з рівнів забезпечення управління національної і транснаціональної безпеки.

КСРМіРП базується на унікальних наукових розробках, сучасних технічних засобах та новітніх технологічних можливостях, що спираються на спеціальні програмні коди, здатні на певний проміжок часу визначити розміри, кількісні та якісні характеристики зон радіоактивного забруднення, включаючи їх напрямки і глибини. ПЗ системи здійснює аналіз і моделювання розповсюдження радіоактивного забруднення навколишнього середовища на базі моделі Лагранжа.

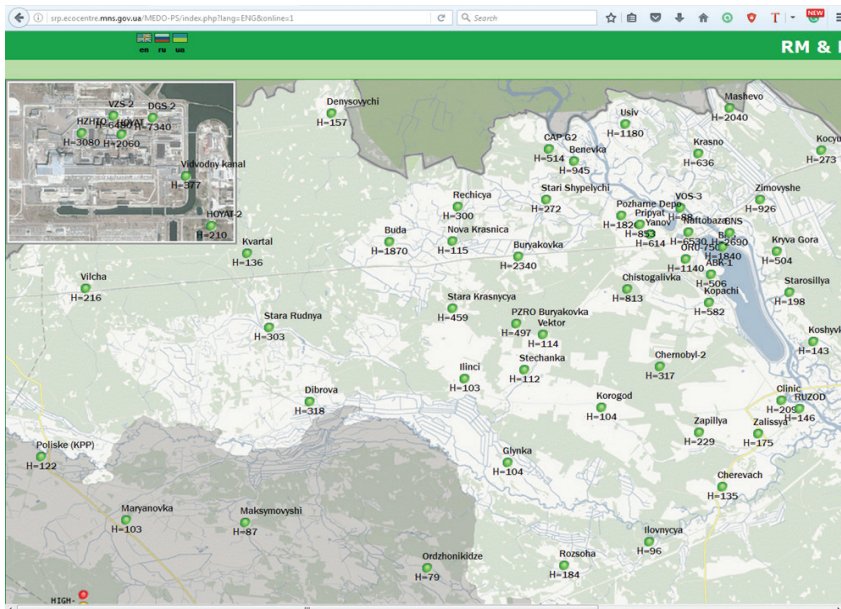
Загальна площа покриття мережі КСРМіРП складає понад 2000 км². Вона включає 40 пунктів (рис 2.3): проммайданчик ДСП «ЧАЕС» – 12 пунктів, 5-км зона – 5 пунктів, 10-км зона – 12 пунктів, 30-км зона – 10 пунктів, м. Славутич – 1 пункт.

У КСРМіРП інтегровані такі підсистеми:

- Автоматизована система контролю радіаційної обстановки (АСКРО) Чорнобильської зони відчуження.
- Автоматизована система контролю за нерозповсюдженням радіоактивних речовин та ядерних матеріалів (СІД).

Особливості КСРМіРП:

- Використання виділеного радіоканалу передачі даних від віддалених датчиків у центр обробки інформації.
- Вимірювання у сукупності понад 500 радіоекологічних, метеорологічних і фізико-хімічних параметрів навколишнього середовища.
- Спеціально розроблене програмне забезпечення, використання якого дозволяє здійснювати аналіз, оцінку і прогнозування радіоекологічного стану як у зоні відчуження, так і за її межами.
- Мобільний пункт спостереження на базі автомобіля-позашляховика.



**Рис. 2.3. Розташування пунктів КСРМіП
на карті 30-км зони ЧЗВ ([http://srp.ecocentre.mns.gov.ua/
MEDO-PS/index.php?lang=ENG&online=1](http://srp.ecocentre.mns.gov.ua/MEDO-PS/index.php?lang=ENG&online=1))**

- Вимірювання, збір в єдиному центрі, архівування, аналіз і прогнозування даних про радіоекологічний стан.
- Контроль за технічним станом обладнання системи з єдиного центру з можливістю сигналізації про технічні проблеми в роботі елементів системи.
 - Можливість доступу користувачів мережі INTERNET до інформації про радіоекологічний стан в ЧЗВ і за її межами: <http://srp.ecocentre.mns.gov.ua>.
 - Надання звітних даних у центр Євросоюзу з аналізу техногенної ситуації (м. Іспра, Італія) про радіоекологічний стан у ЧЗВ та за її межами.

Радіогеохімічний моніторинг є основним джерелом отримання регулярної і системно-організованої інформації про просторовий

розподіл радіоактивних, зокрема техногенних, елементів та ізотопів і закономірності їх мобілізації, транзиту, локалізації та фіксації. З метою реалізації цього виду моніторингу оцінюють радіоекологічний стан природно-техногенних систем різних рівнів за допомогою гамма-зйомки та радіохімічного аналізу території: на національному рівні оцінюють радіоекологічну ситуацію загалом по країні; регіональний рівень охоплює великі природно-територіальні комплекси або їх частини в природних адміністративних межах; локальний рівень займається вивченням міських агломерацій особливо забруднених районів; на детальному рівні оцінюють окремі райони міських агломерацій та інші природно-техногенні комплекси вищих порядків. Для здійснення радіогеохімічного моніторингу формують регулярну мережу точок спостереження і відбору проб ґрунту, які дають можливість з достатньою повнотою охопити елементи довкілля, що вивчаються, та охарактеризувати їх із допустимою достовірністю.

На основі отриманої інформації складають карти щільності поверхневого забруднення ґрунтів ^{137}Cs , ^{90}Sr , одержують окремі дані про забруднення однорічної та багаторічної рослинності.

Моніторинг поверхневих водних систем. Основною підставою для здійснення цього виду моніторингу було потрапляння великої кількості радіоактивних опадів у водозбори рік Прип'ять, Десна, Дніпро, які є головними водними артеріями водосховищ Дніпровського каскаду.

Установи НАН України, Міністерства охорони здоров'я, гідрометслужби відповідно до програми радіологічного моніторингу гідросфери басейну Дніпра здійснюють спостереження за каскадом Дніпровського водосховища, Чорним морем та всіма основними річками України, а також у місцях водозаборів із підземних джерел.

Радіогідрогеологічний моніторинг. Для спостережень за підземними водами використовувалися сільські шахтні колодязі та діючі водозабірні свердловини. У 1986-1987 рр. у зв'язку з організацією пунктів захоронення та пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів, переважно в межах 5-кілометрової зони навколо Чорнобильської АЕС були пробурені свердловини, які давали інформацію про найшкідливіші радіаційні об'єкти. У 30-кілометровій зоні почали проводитися

режимні спостереження на гідрогеологічних постах, дренажних та осушувальних системах, на певних ділянках ґрунту та у свердловинах

Наразі радіоекологічний моніторинг на території України має певні особливості, спричинені значним забрудненням навколишнього природного середовища внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС.

2.6. Методологія радіаційного контролю та радіоекологічного моніторингу

Система радіаційного контролю передбачає виконання таких послідовних етапів: вимірювання рівня іонізуючої радіації на місцевості (польова радіометрія, дозиметрія), відбір проб та підготовку їх до дослідження, визначення радіоактивності експресними методами, радіохімічний розподіл радіонуклідів, радіометрію виділених радіонуклідів, розрахунок активності.

Достовірність і точність отриманої у процесі радіологічного контролю інформації забезпечує використання методів радіаційного контролю. Їх поділяють на радіометричні, радіохімічні, спектрометричні. Як правило, використовують перші дві групи методів.

Радіометричні методи. До них належать польова радіометрія і дозиметрія, експресне визначення радіоактивності, радіометрія золи, радіохімічних препаратів.

Польова радіометрія і дозиметрія є першим етапом радіаційного контролю й моніторингу довкілля та об'єктів господарювання і мешкання населення, який передбачає отримання даних про радіоактивний фон та рівень радіоактивності середовища. Якщо польову радіометрію і дозиметрію проводять у звичайних умовах, можна одержати інформацію про рівень радіаційного фону. Метод дає змогу вчасно виявити випадки підвищення потужності іонізуючої радіації та прийняти екстрені рішення про захист населення. Польова радіометрія і дозиметрія є основними методами контролювання радіоактивного забруднення продукції сільського господарства.

Експресні методи радіаційного контролю використовують для отримання оперативної інформації про ступінь радіоактивного забруднення об'єктів навколишнього середовища.

Експрес-метод визначення питомої й об'ємної активності гамма-випромінюючих радіонуклідів у воді, харчових продуктах, продукції рослинництва та тваринництва ґрунтується на вимірюванні за допомогою приладів, наприклад, виробництва українського державного підприємства «Екоцентр» потужності дози випромінювання від чисто вимитих і подрібнених проб масою 0,7 кг, які розміщені у літровій банці або посудині Марінеллі, і перерахунку її в одиниці активності (Бк/кг). Методику можна застосовувати при рівнях радіоактивного забруднення $2 \times 10^3 - 4 \times 10^4$ Бк/л (кг).

Експрес-метод визначення питомої й об'ємної активності β -випромінюючих радіонуклідів ґрунтується на вимірюванні швидкості зчитування частинок з «товстошарових» препаратів і наступному математичному розрахунку активності. Межа похибки вимірювання в обох випадках становить 50%.

Для проведення вимірювань використовують радіометри «Терра», «Терра-П» та інші. Методика може бути застосована при вмісті радіоактивних речовин в пробах не менше 37 Бк/кг.

За малої концентрації радіонуклідів у пробах сумарну бета-активність проби визначають по зольному залишку. Щоб збільшити концентрацію радіонуклідів в пробах, їх спалюють та озолують. Золу розтирають у дрібний порошок і вимірювання здійснюють на стаціонарному радіометрі.

Для експресних вимірювань питомої активності ^{137}Cs використовують спектрометри, як правило виробництва австралійської компанії Canberra або американської Ortec, які дають змогу обчислювати участь калію в сумарній активності проби, тобто в радіоактивному забрудненні довкілля загалом.

Радіохімічні методи. Їх використовують, дотримуючись певної послідовності: відбір і підготовка проб досліджуваних об'єктів; внесення носіїв та мінералізація проб; виділення радіонуклідів із проб; очищення виділених радіонуклідів від сторонніх нуклідів і супутніх елементів; ідентифікація і перевірка радіохімічної чистоти; радіометрія виділених радіонуклідів; розрахунок активності і висновки.

Відібрані радіологічними відділами зразки проб повинні бути типовими для досліджуваного об'єкта, а маса – достатньою для проведення радіохімічного аналізу (після озолення – 20-40 г).

При відборі проб ґрунту і рослинності в контрольних пунктах вимірюють гамма-фон на відстані 0,7-1 м від поверхні ґрунту і 1-1,5 см від об'єкта.

Застосування різноманітних методів радіаційного контролю дає змогу здійснювати виміри радіоактивності різних складових середовища, продукції тощо. Вибір методів залежить від мети радіаційного контролю.

2.7. Організація та функціонування системи радіоекологічного моніторингу

Система радіоекологічного моніторингу базується на існуючих структурах моніторингу і в ідеалі має формуватися за єдиним нормативним та організаційним принципами, мати уніфіковане методологічне, приладове та метрологічне забезпечення.

Функціонування системи радіоекологічного моніторингу неможливе без інтеграції суб'єктів моніторингу, яка повинна здійснюватися Мінекології на основі державних та регіональних програм та договорів між суб'єктами про спільну діяльність.

Методологічний супровід радіоекологічного моніторингу забезпечується цим міністерством із залученням науково-дослідних організацій, базуючись на єдиній науково-методичній базі уніфікованих параметрів і значень показників стану об'єктів навколишнього середовища та ступеня його радіоактивного забруднення.

Метрологічне забезпечення також покладене на Мінекології із залученням Держстандарту за єдиною науково-технічною політикою у сфері метрології і сертифікації вимірювального обладнання та єдиною нормативно-методичною базою із забезпечення достовірності та порівняння отриманих результатів.

Мінекології розробляє і впроваджує регламенти спостережень, які окреслюють зони спостережень та об'єкти навколишнього середовища, котрі включають:

- строки проведення спостережень;
- рівень радіаційного фону;
- місця відбору проб та періодичність відбору;
- методи відбору та аналізу проб;
- вміст у пробах контрольованих радіонуклідів та їх форми;
- форми зберігання одержаної інформації.

Мінекології інформує органи влади і населення про результати проведення радіоекологічного моніторингу, а за необхідності розробляє пропозиції щодо впровадження контрзаходів та інших радіозахисних прийомів, спрямованих на зменшення отримуваної населенням дози іонізуючої радіації.

Нині на забруднених радіонуклідами територіях здійснюється радіоекологічний моніторинг:

- ландшафтно-геологічного середовища з метою отримання базової інформації про оцінку і прогноз загальної екологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях та їх впливу на екологічну обстановку прилеглих територій;
- ґрунтів;
- поверхневих і підземних водних систем;
- біоценозів, агроценозів та заходів з поліпшення природних угідь;
- сільськогосподарської продукції, харчових продуктів та питної води.

Радіоекологічний моніторинг передбачає картографування та прогнозування відповідних радіоекологічних показників.

Відповідно до функціональних типів радіоекологічного моніторингу та завдань, які доводиться вирішувати, вивчаючи результати антропогенного впливу на довкілля, а також узагальнення отриманої інформації, в тому числі і з радіоекологічної ситуації, використовуються за просторовим охопленням певні *масштаби рівнів досліджень*:

- глобальний (біосферний) радіоекологічний моніторинг передбачає стеження за загальносвітовими процесами й явищами у біосфері та здійснення прогнозу можливих змін у радіаційному фоні та радіоактивному забрудненні об'єктів навколишнього середовища (масштаб 1:1000 000-500 000);

- національний моніторинг передбачає стеження за названими процесами і явищами спеціально створеними органами у межах країни (масштаб 1:1000 000-500 000);
- регіональний моніторинг охоплює великі природні територіальні комплекси (регіони) або їхні частини в природних або адміністративних межах (масштаб 1:200 000-1:100 000);
- локальний моніторинг передбачає здійснення спостережень в особливо небезпечних зонах і місцях, при вивченні міських агломерацій, дуже забруднених районів, які безпосередньо примикають до джерел можливого радіоактивного забруднення (масштаб 1:50 000-1:25 000);
- детальний радіоекологічний моніторинг застосовується при вивченні окремих підприємств, районів міських агломерацій та інших природно-техногенних комплексів нижчих порядків (масштаб 1:10 000-1:2 000 і більше).

При розробці системи моніторингу з точки зору повноти, достатності й достовірності отримуваної інформації, вартості створення і функціонування системи, наявності матеріальних і людських ресурсів відбувається оптимізація таких показників:

- мережі – просторової частоти розміщення (відстаней) пунктів контролю чи відбору проб (наприклад, загальнодозиметрична паспортизація проводиться в кожному населеному пункті зони радіоактивного забруднення; при моніторингу сільськогосподарських угідь для визначення щільності забруднення ґрунту проби відбираються з кожних 50 га);
- регламенту – часової частоти (інтервалів часу) вимірювань контрольованих параметрів або відбору проб (наприклад, потужність експозиційної дози, зазвичай, вимірюється щоденно, а концентрація радіонуклідів у повітрі – раз на декілька днів);
- об'єктів – контрольованими об'єктами з точки зору радіоактивного забруднення можуть бути повітря, вода, ґрунт, сільськогосподарська продукція і т.д. (наприклад, після Чорнобильської катастрофи найкритичнішою була продукція тваринництва, тому її контролю приділялася й приділяється особлива увага);
- методів відбору і вимірювання проб, статистичної обробки, зберігання та інтерпретації отриманих даних.

Радіоекологічний моніторинг, будучи складовою частиною загальної системи екологічного моніторингу, спрямований на забезпечення першочергової мети безпеки – захисту людей і охорони довкілля від шкідливого впливу іонізуючого випромінювання шляхом вирішення наступних завдань:

- вимірювання інтенсивності іонізуючого випромінювання або активності радіонуклідів у об'єктах довкілля, включаючи викиди та скидання радіонуклідів підприємствами ЯПЦ з метою оцінки, контролю та обмеження опромінення населення;

- виявлення тенденцій зміни стану природного середовища у зв'язку з функціонуванням екологічно небезпечних об'єктів та при реалізації заходів на забруднених територіях об'єктів природного середовища;

- інформаційного забезпечення прогнозу радіоекологічної ситуації в забрудненій зоні та в Україні в цілому.

Радіоекологічний моніторинг здійснюється за наступними основними напрямками:

- вимірювання інтенсивності іонізуючого випромінювання;
- оцінка вмісту радіонуклідів у тілі людей та рівнів опромінення;
- оцінка радіоактивного забруднення приземного шару повітря, поверхонь (грунту, лісової підстилки та інших), поверхневих і ґрунтових вод, продукції рослинництва і тваринництва, харчових продуктів та інших об'єктів навколишнього середовища.

Планування радіоекологічного моніторингу розглядається як спеціальна програма, яка має чітко передбачати: вид, частоту, методи вимірювань, методи відбору проб і їх наступного лабораторного дослідження, методи статистичної обробки, методи інтерпретації та реєстрації даних. Об'єктна спрямованість програми, її масштабність і тривалість обумовлюють як види вимірювань, так і перелік суб'єктів, яким доручається виконання окремих завдань. Оптимізація радіаційного моніторингу охоплює: аналіз та уточнення мети і задач моніторингу, пунктів спостережень, вимірюваних параметрів і їх кількісних характеристик, методів моніторингу, методів вимірювань і обладнання (розробка, модифікація, адаптація, тощо); аналіз баз даних; огляд сфери впровадження й інформа-

ційного поширення результатів моніторингу. Вимоги добротності проведення моніторингу розглядаються у вигляді системи гарантії якості, яка пронизує всю програму від постановки мети і завдань моніторингу до надання і поширення результатів моніторингу.

Контрольні запитання до розділу 2:

- 1. Визначення радіоекологічного моніторингу.*
- 2. Джерела радіоактивного забруднення навколишнього середовища.*
- 3. Цілі та завдання радіоекологічного моніторингу.*
- 4. Складові радіоекологічного моніторингу.*
- 5. Основні положення радіоекологічного моніторингу.*
- 6. Поняття про комплексний радіоекологічний моніторинг та його складові.*
- 7. Методологія радіаційного контролю та радіоекологічного моніторингу.*

РОЗДІЛ 3. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ

3.1. Джерела надходження радіоактивних речовин в атмосферу. 3.2. Вимоги до організації спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря. 3.3. Пости спостережень, програми і терміни спостережень. 3.4. Методи відбору проб повітря та оцінювання його радіоактивності. 3.5. Супутні метеорологічні спостереження при відборі проб повітря. 3.6. Радіоактивне забруднення атмосфери при пожежах на забруднених радіонуклідами територіях.

Радіоактивність атмосфери зумовлена присутністю у ній радіоактивних газів і аерозолів, які надходять внаслідок процесів, що відбуваються в природі, та антропогенної діяльності. Відповідно розрізняють природну і штучну радіоактивність атмосфери.

Радіоактивне забруднення атмосфери – це внесення в неї природних радіоактивних ізотопів, що перевищують певний допустимий рівень, або внесення штучних радіоактивних ізотопів.

3.1. Джерела надходження радіоактивних речовин в атмосферу

Чотири основні джерела надходження природних радіоактивних ізотопів (радіонуклідів) в атмосферу:

– утворення радіоактивних ізотопів в атмосфері під впливом космічного випромінювання – так звані космогенні радіонукліди (основні дозоутворюючі з них, тобто такі, що включаються в метаболізм та інкорпуються в тканинах, формуючи дозу опромінення, це – ^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{28}Mg , ^{32}P , ^{35}S , ^{36}Cl);

– ізотопи радону та продукти їх розпаду, які надходять в атмосферу з поверхні ґрунту (основні з них – ^{222}Rn – радон, ^{220}Rn – торон, ^{219}Rn – актинон та ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{210}Bi);

– викиди теплоелектростанцій та інших підприємств, що спалюють органічні паливні матеріали – деревину, вугілля, нафту, газ та інше (основні дозоутворюючі радіонукліди – ^3H , ^{14}C , ^{22}Na , ^{32}P , ^{35}S , ^{40}K , ^{48}Ca , ^{210}Po , ^{238}U);

– пиловий підйом з поверхні ґрунту, який може містити певні кількості і радіоактивних речовин, особливо в місцях видобутку підземних корисних копалин не тільки радіоактивних руд (дозоутворюючі радіонукліди – ^{40}K , ^{48}Ca , ^{232}Th , ^{238}U). Під час пилових бур з поверхні землі вітром в атмосферу підіймаються десятки тонн ґрунту з квадратного кілометра. Так під час пилової бурі в Донецькому регіоні, яка тривала 26-30 березня 2015 р., швидкість вітру досягала 24 м/с, при цьому втрати ґрунту від дефляції на величезній території досягли 11-14 т/га.

Іноді виділяють ще одне джерело природних радіонуклідів – радіонукліди, що надходять в атмосферу з космічним пилом (^{10}Be , ^{26}Al та деякі інші). Максимум їх концентрацій спостерігається на висоті 80-100 км – у зоні випаровування мікрометеоритів, тому внесок таких радіонуклідів у радіоактивність біоти відносно незначний.

Три основних джерела надходження штучних радіоактивних ізотопів у атмосферу:

– випробування атомної зброї в тропосфері, стратосфері і космосі;

– штатні викиди ядерних реакторів;

– аварійні викиди на підприємствах ядерного паливного циклу, у першу чергу – на атомних електростанціях.

В усіх трьох випадках – це продукти поділу ядер ^{235}U та ^{239}Pu , сотні різних радіоактивних ізотопів. Однак, переважна більшість їх – короткоживучі, що швидко розпадаються. Основними дозоутворюючими радіонуклідами є довгоживучі ^{90}Sr і ^{137}Cs з періодами піврозпадів, відповідно, 29 і 30 років.

Деякі з основних дозоутворюючих радіонуклідів, що надходять в атмосферне повітря, наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Основні дозуютьорюючі радіоактивні ізотопи

Елемент	Ізотоп	Переважаче випромінювання	Енергія випромінювання, МеВ	Фізичний стан	Питома маса, г/см ³	T _{0,5}	Місце депонування	T ₆	Група радіаційної небезпеки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Природні ізотопи									
Такі, що утворюють родини, та продукти їх розпаду									
Торій	²³² Th	α	4,07	Метал	11,7	1,4×10 ¹⁰ р.	Легені, печінка, нирки	700 діб	А
Уран	²³⁵ U	α	4,47	Метал	19,0	7,1×10 ⁸ р.	Нирки, печінка, скелет	25, 150,	Б
Уран	²³⁸ U	α	4,27	Метал	19,0	4,5×10 ⁹ р.		450 діб	Б
Радій	²²⁶ Ra	α(γ)	4,86	Метал	5,0	1620 р.	Скелет	17 р.	А
Полоній	²¹⁰ Po	α	5,29	Метал	9,4	138 діб	Нирки, кров, легені	37 діб	А
Радон	²²⁰ Rn	α	6,28	Газ	0,0099	55 с	Легені	3–5 хв.	Г
Радон	²²² Rn	α	5,49	Газ	0,0099	3,8 доби	Легені	10–30 хв.	Г
Такі, що не утворюють родин, або позародинні									
Калій	⁴⁰ K	β і γ	1,325 і 1,459	Метал	0,86	1,3×10 ⁹ р.	М'язи, печінка	58 діб	Г
Рубідій	⁸⁷ Rb	β і γ	0,28 і 0,39	Метал	1,53	6,2×10 ¹⁰ р.	М'язи, печінка	40–80 діб	В
Кальцій	⁴⁸ Ca	β	0,08	Метал	1,50	1×10 ¹⁶ р.	Скелет	20 р.	Г
Космогенні									
Водень	³ H	β	0,019	Газ	0,000089	12,34 р.	М'язи	10–30 діб	Г
Вуглець	¹⁴ C	β	0,155	Газ	0,00125	5730 р.	Печінка, нирки, легені		Г

Продовження таблиці 3.1

Елемент	Ізо- топ	Перева- жаюче випро- міню- вання	Енергія випро- міню- вання, МеВ	Фізич- ний стан	Питома маса, г/см ³	T _{0,5}	Місце делонування	T ₆	Група радіа- ційної небез- пеки
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Штучні ізотопи									
Продукти поділу ядер урану									
Стронцій	^{89,90} Sr	β	1,463 і 0,544	Метал	2,6	50,5 дб і 29 р.	Скелет	30–50 р.	В і Б
Йод	¹³¹ I	β і γ	0,608 і 0,723	Неметал	4,94	8,04 доби	Щитоподібна залоза	120 дб	Б
Цезій	¹³⁴ Cs	β і γ	0,512 і 1,367	Метал	1,87	2,06 р.	М'язи	40–60 дб	Б
Цезій	¹³⁷ Cs	β і γ	0,520 і 0,662			30,17 р.			
Ізотопи трансуранових елементів									
Плутоній	²³⁹ Pu	α	5,23	Метал	19,8	2,41 × 10 ⁴ р.	Скелет, печінка	200 р.	А
Америцій	²⁴¹ Am	α	5,57	Метал	13,7	432,8 р.	Скелет, печінка	70 р.	А
Продукти наведеної радіоактивності									
Фосфор	³² P	β	1,710	Неметал	1,83	14,3 доби	Скелет, м'язи, печінка	19 і 0,5 доби	В
Сірка	³⁵ S	β	0,167	Неметал	2,07	87,1 доби	Все тіло	60–140 дб	В
Залізо	⁵⁹ Fe	β і γ	1,560 і 1,290	Метал	7,87	45,1 доби	Печінка, кров	40 і 200 дб	В
Кобальт	⁶⁰ Co	β і γ	1,478 і 1,330	Метал	8,90	5,272 р.	Печінка, нирки	70–90 дб	В
Цинк	⁶⁵ Zn	β і γ	0,325 і 1,110	Метал	7,13	244,1 доби	Скелет, м'язі тканини	400 і 20 дб	В

3.2. Вимоги до організації спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря

Організація спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря передбачає контроль за вмістом радіоактивних речовин не лише у самій атмосфері, але й у суміжних компонентах навколишнього природного середовища: літосфері, гідросфері, біосфері з урахуванням специфіки регіону (наявність підприємств ЯПЦ та інших, які є джерелами викиду радіоактивних речовин, колишнього радіоактивного забруднення території внаслідок ядерних і радіаційних інцидентів та інших). Для цього необхідно мати такі матеріали:

- дані про попередні спостереження стану радіоактивного забруднення атмосфери та згадані супутні елементи навколишнього середовища у регіоні;
- дані про наявні та можливі джерела радіоактивного забруднення атмосфери;
- дані про радіонуклідний склад забруднення, його фізико-хімічний стан;
- дані про стан радіоактивного забруднення атмосфери та інших елементів навколишнього природного середовища у сусідніх регіонах, країнах, континенті.
- гідрометеорологічні дані як на час спостережень, так і на перспективу.

Радіоекологічний моніторинг атмосфери здійснюється, як правило, в межах загального екологічного моніторингу атмосфери у системі спостережень за якістю атмосферного повітря на різних територіях, особливо в містах та інших населених пунктах. Практикуються радіоекологічні спостереження за окремими підприємствами, особливо підприємствами ядерного паливного циклу та іншими, які є джерелами викидів радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Спостереження здійснюють відповідні служби Держкомітету гідрометеорології, Мінекології, лабораторії зовнішньої дозиметрії АЕС та підприємств ЯПЦ.

Контроль за радіоактивним забрудненням атмосфери здійснюється на фоновому рівні, а також у зонах радіаційного впливу

атомних електростанцій та інших джерел можливого радіонуклідного забруднення. В Україні при цьому особлива увага надається територіям, забрудненим внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, місцям видобутку урану, деяким територіям із підвищеним рівнем природного радіаційного фону. В деяких країнах, де проводились випробування атомної зброї, до зон радіаційного впливу належать полігони випробувань (зокрема, в Росії – Новоземельський, Казахстані – Семипалатинський та інші).

Під час контролю за радіоактивним забрудненням на фоновому рівні використовують фонові станції або спеціальні станції, встановлені на відстані 50-100 км від можливого джерела радіоактивного забруднення. Для моніторингу в радіусі до 25 км застосовують мережу контролю і спеціальні пости спостережень, де встановлюють датчики γ -випромінювання та пристрої для відбору проб і аналізу повітря. У межах санітарно-захисної зони створюють пости дистанційного контролю радіоактивного забруднення атмосферного повітря, а також газо-аерозольних викидів у трубах на АЕС.

Важливим методологічним підходом до контролювання транскордонного перенесення глобальних потоків радіоактивних речовин на великі відстані від місця викиду є низка спеціальних наземних та авіаційних станцій. Такі станції обладнані системами відбору газу та аерозолів, збору сухих осідань та опадів, аналізу вмісту радіонуклідів та їхньої загальної і окремої радіоактивності у відібраних пробах повітря. Дані від них надсилаються у Західно- та Східноєвропейський метеорологічні синтезуючі центри. За ступенем оперативності інформацію поділяють на такі види:

– екстрена інформація (містить відомості про різкі зміни рівнів радіоактивного забруднення атмосферного повітря, які негайно передаються в контролюючі та господарські організації; саме завдяки системі такої інформації, Швеція, розташована на відстані майже двох тисяч кілометрів від північних кордонів України, вже через добу після аварії на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 р. першою із зарубіжних країн виявила радіоактивні речовини в повітрі, тобто їх транскордонний перенос, і повідомила про неї відповідним міжнародним організаціям);

– оперативна інформація (містить узагальнені матеріали спостережень за радіоактивністю повітря протягом місяця; саме завдяки їй радіонукліди, викинуті під час аварії на Чорнобильській АЕС, які вже через тиждень підпали під дію тропосферних вітрів, були виявлені послідовно практично в усіх країнах північної півкулі нашої планети, а радіонукліди, що були викинуті 11 березня 2011 р. під час аварії на АЕС «Фукусима-1», вже через тиждень були виявлені над Європою, у тому числі і над Україною);

– режимна інформація (містить дані про середній та максимальний рівні радіоактивного забруднення повітря протягом тривалого часу, як правило, за рік, котрі використовуються при плануванні певних заходів, спрямованих на захист персоналу підприємств ЯПЦ, населення від додаткового опромінення, оцінювання збитків, завданих народному господарству внаслідок забруднення атмосферного повітря).

На рис. 3.1 наведені дані про забруднення атмосферного повітря в Києві радіоактивними ізотопами йоду та цезію у перші два тижні після аварії на Чорнобильській АЕС. Вони свідчать, що 30 квітня, коли вітер змінив напрям і подув з півночі на південь, рівень радіоактивності повітря зріс більше, ніж на чотири порядки.

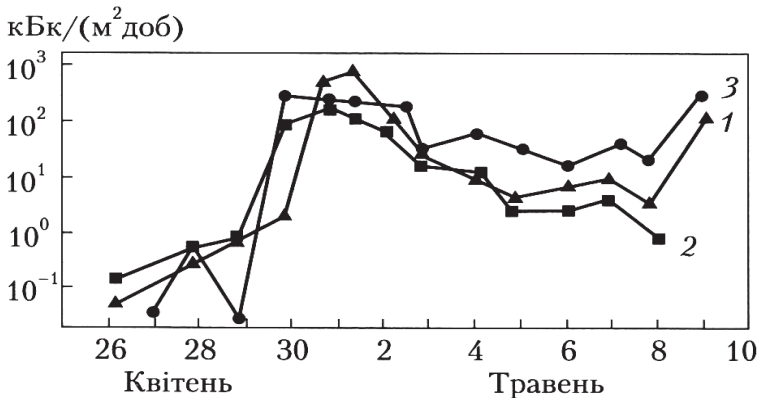


Рис. 3.1. Інтенсивність радіонуклідного випадіння з атмосферного повітря в Києві у перші дні після аварії на Чорнобильській АЕС: 1 – ^{131}I , 2 – ^{137}Cs і 3 – ^{134}Cs (активність ^{134}Cs повинна бути в 2 рази менше ^{137}Cs , иначе - это ерунда!)

3.3. Пости спостережень, програми і терміни спостережень

Системи моніторингу атмосфери розвинутих країн, у тому числі й України, постійно відстежують радіоактивне забруднення повітря та його зміни, як правило, тільки в критичних аварійних ситуаціях. Забруднення контролюють стаціонарні, маршрутні і пересувні (підфакельні) пости спостереження.

Стаціонарний пост спостереження призначається для регулярного відбору проб повітря з метою подальшого визначення загальної радіоактивності й лабораторного аналізу вмісту окремих радіонуклідів та їх внеску до загальної радіоактивності.

Маршрутний пост спостереження призначений для регулярного відбору проб повітря у фіксованих точках місцевості за допомогою спеціально обладнаної автолабораторії. Розміщення маршрутних постів повинно бути таким, щоб виявляти максимальні рівні радіоактивності, які формуються джерелом викиду. Визначаючи місця відбору проб повітря, приймають до уваги висоту джерела викиду (H) і максимально можливу зону забруднення ним атмосферного повітря (R), яка дорівнює $20 H$. Згідно з такою схемою, центром якої є джерело викиду, будують кола з радіусами $0,5 R$; $1 R$; $1,5 R$. У точках перетину кіл з проведеними від центру лініями, що позначають сторони світу, відбирають проби повітря.

Пересувний (підфакельний) пост спостереження використовують для відбору проб повітря під радіоактивною хмарою. Місця відбору проб обирають з урахуванням закономірностей поширення радіоактивних частинок в атмосфері за переважаючими напрямками вітрів, починаючи з декількох десятків метрів від джерела викиду.

Залежно від виду постів та їх завдань визначають програми і терміни спостережень. Під час гострого періоду розвитку аварії на Чорнобильській АЕС на кінець 1986 р. радіоактивні випадіння з атмосфери фактично припинилися і необхідність у маршрутних та пересувних постах спостережень відпала. Стаціонарні пости спостережень періодично проводять аналізи радіоактивності повітря.

3.4. Методи відбору проб повітря та оцінювання його радіоактивності

Радіонукліди можуть надходити в атмосферу або у газоподібному стані (наприклад, радіоактивні благородні гази), або з аерозольними частинками. Повітря – це рухома система, склад якої може постійно змінюватися. Тому одним з найважливіших елементів аналізу радіоактивності атмосферного повітря є відбір проб. Проби повітря відбирають аспіраційним способом, пропускаючи повітря через поглинальний прилад з визначеною певною швидкістю та способом заповнення посудин певного об'єму.

Аспіраційний спосіб відбору проб повітря. Внаслідок пропускання повітря через поглинальний прилад відбувається концентрування носіїв радіоактивності (звичайно, аерозолів, гідрозолів) у поглинальному середовищі. Для отримання достовірних показників радіоактивності кількість пропущеного повітря може досягати десятків і сотень літрів за хвилину – все визначається рівнями радіоактивного забруднення повітря. Хоча треба відмітити, що методи визначення і оцінки рівнів радіоактивності на багато порядків чутливіші й точніші, ніж хімічні методи аналізу.

Проби поділяють на разові (період відбору 20-30 хв.) та середньодобові (не менше 4-разових проб через однакові проміжки часу протягом доби). Найкращим способом отримання середньодобових значень є безперервний відбір проб протягом 24 год. через електроаспіратори, обладнані реометрами – приладами, які реєструють об'єм повітря.

Система відбору проб повітря для дослідження радіоактивного пилу складається з трубки, обладнаної фільтрами, та шлангу, котрий підключається до повітряпроводу. Роль останнього може виконувати звичайний пилосос. Головним же елементом системи пробовідбору повітря є поглинальні пристрої – фільтри чи сорбенти, призначені для вбирання газоподібних речовин (радіоактивних газів та інших летючих радіонуклідів), радіоактивних аерозолів, пилу. В поглиначах визначають вміст радіонуклідів і розраховують їх кількість в одиниці об'єму повітря.

Відбір проб повітря способом заповнення посудин. Для відбору проб використовують звичайні скляні ємності визначеного об'єму, котрі заповнюють повітрям шляхом продування через посудину його 10-кратного об'єму, після чого посудину герметично закривають. Такий спосіб допускається при високих рівнях радіонуклідного забруднення повітря.

Для відбору аерозольних проб звичайно використовують різні фільтрувальні системи, забезпечені вимірювачами об'єму повітря, що проходить через них. Щоб відібрати окремі фракції аерозольних частинок користуються спеціальними наборами послідовно встановлених фільтрів з різними розмірами пор.

Відбір проб аеральних опадів. Проби атмосферних опадів, як сухих, так і вологих, відбирають різними способами. Вологі (мокрі) опади збирають звичайними пристроями, що застосовуються на метеорологічних станціях для збору дощу та снігу. Сухі опади відбирають на липкі планшети – металеві пластини певної площини, котрі попередньо покривають липкою невисихаючою смолою типу вініполу, або на планшети, покриті так званою тканиною Петрянова (спеціальна знезолена пориста тканина). Липкі планшети можна відправляти на радіометрію без підготовки, або кількісно змивати опади ацетоном, бензином чи іншими розчинниками, у котрих потім можна буде визначити вміст радіонуклідів. Тканинні планшети піддають радіометрії безпосередньо або після спопеління.

3.5. Супутні метеорологічні спостереження при відборі проб повітря

У зв'язку з тим, що метеорологічні чинники зумовлюють перенесення і розсіювання радіоактивних речовин в атмосфері, відбір проб повітря повинен супроводжуватися спостереженнями за такими метеорологічними параметрами, як напрям і швидкість вітру, температура і вологість повітря, атмосферні опади та інші, що впливають на розповсюдження й концентрацію радіонуклідів, їхнє випадіння на земну поверхню.

Напрямок вітру визначають за допомогою спеціальних вимпелів, флюгерів, швидкість вітру вимірюють вітроміром або анемометром, вологість повітря оцінюють гігрометрами і психрометрами, температуру – термометрами, атмосферний гідростатичний тиск – барометрами, кількість атмосферних опадів – за допомогою спеціальних водомірних посудин. Важливо реєструвати тривалість дії того чи іншого фактору.

Існують автоматизовані системи спостереження й контролю за станом атмосферного повітря, призначені для постійного відстеження за змінами у часі і просторі характеристик забруднення, в тому числі і радіонуклідами, та метеорологічними параметрами повітряного простору. Вони оснащені автоматичними системами відбору проб та приладами автоматичного визначення радіоактивності повітря. Такі системи вкрай важливі і необхідні для ефективного функціонування системи спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря особливо у гострий (початковий) період розвитку радіаційного інциденту. Втім, спостереження за станом радіаційного фону, яке визначається у першу чергу радіоактивним забрудненням атмосфери, повинно тривати постійно.

3.6. Радіоактивне забруднення атмосфери при пожежах на забруднених радіонуклідами територіях

Під час лісових та лугових пожеж на забруднених радіонуклідами територіях відбувається надходження радіонуклідів в атмосферу у парогазовій формі (у першу чергу ^{137}Cs і потім – ^{90}Sr , температура плавлення і кипіння якого значно вища), а також разом з попелом і золою у вигляді аерозолів субмікронного і мікронного розмірів, які містять окрім цих радіонуклідів β -випромінювач ^{241}Pu та α -випромінювачі ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Am й деякі інші. Це призводить до збільшення об'ємної активності радіонуклідів у приземному шарі повітря у десятки, сотні і навіть тисячі разів, що може створити небезпеку для учасників пожежогасіння внаслідок інгаляції радіоактивних речовин і, відповідно, внутрішнього опромінення.

За відсутності традиційної господарської діяльності у зоні відчуження і зоні обов'язкового (безумовного) відселення Чорнобильської

АЕС за роки після аварії відбувається інтенсивне накопичення рослинного горючого матеріалу у лісах та луках, що підвищує ризик пожеж. За цей час тут офіційно було зафіксовано понад 1300 пожеж різного виду, тяжкості, масштабів і наслідків. Наймасштабніші пожежі у зоні відчуження сталися у серпні 1992 р. та наприкінці квітня 2015 р. Першою пожежею було охоплено близько 17 тисяч гектарів луків та лісових угідь, другою – понад 10 тисяч гектарів (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Лісова пожежа у зоні відчуження Чорнобильської АЕС

Пожежі виникають і на інших забруднених радіонуклідами територіях. Великомасштабна пожежа, яка охопила декілька десятків тисяч гектарів лісу, виникла у травні 2005 р. у Житомирській області на території, рівень забруднення якої за ^{137}Cs перевищував 555 кБк/м^2 (15 Кі/км^2).

Аналіз дистанційного зондування Землі за космічними знімками дозволив прослідкувати рух димової хмари за північно-західним вітром, яка пройшла відстань понад 100 км і досягла південно-західних окраїн Києва (рис. 3.3, 3.4).

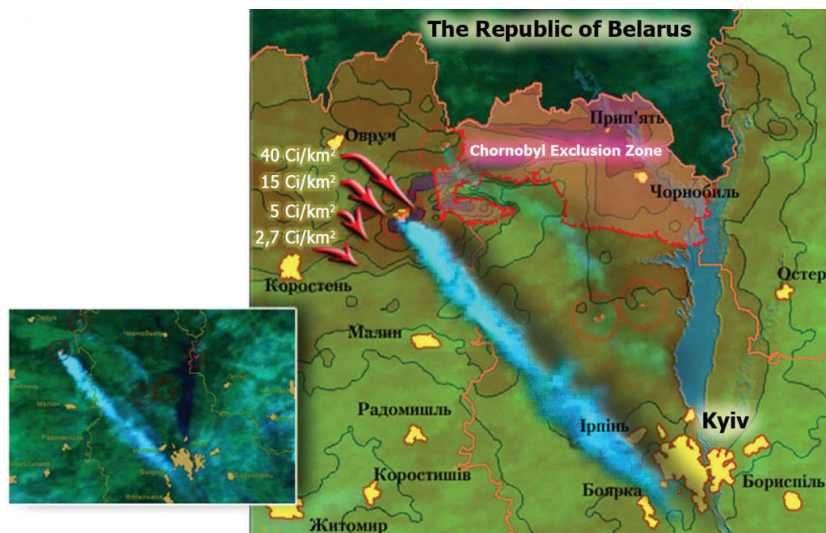


Рис. 3.3. Дим від лісової пожежі на забрудненій радіонуклідами території у травні 2005 р. досяг околиць Києва



Рис. 3.4. Димова хмара, що виникла внаслідок пожежі на забрудненій радіонуклідами території, над околицями Києва (травень 2005 р.)

В цілому таке дистанційне зондування дає можливість проводити моніторинг та оцінювати наслідки пожеж на основі аналізу взаємозв'язку між ступенем ураження рослинного покриву (ступінь дефоліації та усихання дерев) та спектральними характеристиками короткохвильового інфрачервоного каналів зображень.

15-17 липня 2016 р. відбулася пожежа на площі 300 га у найзабрудненішій радіонуклідами території колишнього «Рудого лісу» в межах чорнобильської зони відчуження (рис. 3.5). При цьому концентрація ^{90}Sr в приземному шарі атмосфери біля фронту вогню за даними ДСП «Екоцентр» досягала максимальних значень 1 Бк/м^3 , $^{137}\text{Cs} \leq 0,4 \text{ Бк/м}^3$, $^{238-240}\text{Pu} \leq 0,006 \text{ Бк/м}^3$, $^{241}\text{Am} \leq 0,01 \text{ Бк/м}^3$, що при інтенсивній роботі протягом однієї години без засобів індивідуального захисту органів дихання може у даному випадку призвести до формування порівняно невеликої інгаляційної дози внутрішнього опромінення учасників пожежогасіння – не вище $2,5 \text{ мкЗв}$ (що може бути порівняно з потужністю дози зовнішнього опромінення на цій території).



Рис. 3.5. Димова хмара, що виникла внаслідок пожежі на території колишнього «Рудого лісу» (липень 2016 р., фото з сайту Державної адміністрації зони відчуження)

Достовірна оцінка масштабів пожеж на забруднених територіях, інформація про них і зумовлена пожежами радіологічна небезпека для людей набуває особливої актуальності і має велике соціально-психологічне значення як для населення цих територій, так і за їх межами.

Контрольні запитання до розділу 3:

- 1. Що слід вважати радіоактивним забрудненням атмосфери.*
- 2. Джерела надходження радіоактивних речовин до атмосфери.*
- 3. Природні радіонукліди атмосфери, що формують дозу опромінення людини.*
- 4. Штучні радіонукліди атмосфери, що формують дозу опромінення людини.*
- 1. Вимоги до організації спостережень за радіоактивним забрудненням атмосферного повітря.*
- 5. Пости спостережень та їх завдання.*
- 6. Методи відбору проб повітря та оцінювання його радіоактивності.*
- 7. Супутні метеорологічні спостереження при відборі проб повітря.*
- 8. Вплив лісових пожеж на забруднених радіонуклідами територіях на забруднення повітря.*

РОЗДІЛ 4. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ҐРУНТІВ

4.1. Джерела радіоактивного забруднення ґрунту. 4.2. Міграція радіонуклідів у ґрунті. 4.3. Об'єкти і методи радіоекологічного моніторингу ґрунтів. 4.4. Проведення гамма-зйомки над поверхнею ґрунту. 4.5. Відбирання проб ґрунту. 4.6. Підготовка проб ґрунту до радіометрії і спектрометрії. 4.7. Визначення щільності радіонуклідного забруднення ґрунту. 4.8. Методологічні підходи до прогнозування радіоактивного забруднення ґрунтів.

Моніторинг ґрунтів – це система спостережень, кількісної оцінки та контролю за використанням ґрунтів і земель з метою організації управління їхньою продуктивністю. Моніторинг ґрунтів – це контроль, діагностика, прогноз і управління станом ґрунтів заради відтворення їх родючості. Він є складовою частиною екологічного моніторингу і входить до системи моніторингу суміжних середовищ і біосфери в цілому.

Радіоекологічний моніторинг ґрунтів – це система кількісної оцінки вмісту певних природних і штучних радіонуклідів в ґрунті з метою контролю за їх використанням на забруднених радіонуклідами територіях.

Необхідно відмітити, що забруднення ґрунтів радіоактивними речовинами, як, втім і будь-якими токсикантами, як об'єкт спостережень, має ряд важливих специфічних особливостей.

По-перше, ґрунт – це найстабільніше, малорухоме природне середовище порівняно, наприклад, з атмосферою або поверхневими водами. Міграція радіоактивних речовин у ґрунті протікає відносно повільно, особливо на рівнинах, внаслідок чого, високі рівні забруднення ґрунтів деякими радіоактивними речовинами можуть на тривалий час локалізуватися в місцях їхнього викиду у навколишнє природне середовище.

По-друге, можлива поступова зміна хімічного складу як ґрунтів, так і радіонуклідів, наприклад на сільськогосподарських угіддях під впливом вапнування, гіпсування, внесення добрив та ін.

По-третє, інтенсивним шляхом транспортування радіоактивних речовин, які попадають на ґрунт, може бути їх перенесення з атмосферним повітрям разом з пилом, змивання стічними водами, хоча не всі ці механізми переносу відіграють суттєву роль у забрудненні ґрунтів.

По-четверте, під впливом фізико-хімічних факторів (вода, кисень, рН, склад обмінного комплексу та інші), у результаті діяльності мікроорганізмів, здійснюється розпад радіоактивних речовин і перехід їх у доступніший для живих організмів стан або, навпаки, вони можуть включатися у різні комплекси і зв'язуватися, переходячи у важкодоступний стан.

4.1. Джерела радіоактивного забруднення ґрунту

Можна виділити сім основних джерел первинного радіоактивного забруднення ґрунту:

1. Випадіння на поверхню землі космогенних радіонуклідів.
2. Розсіювання по поверхні землі природних радіоактивних ізотопів, які супроводжують видобуток будь-яких мінералів із товщ земної кори.
3. Осідання на поверхню ґрунту природних радіоактивних ізотопів із викидів ТЕС і ТЕЦ.
4. Робота підприємств ядерного паливного циклу: видобуток урану, збагачення його енергодіючого ізотопу ^{235}U , виготовлення твелів, які супроводжуються надходженням у середовище природних радіоактивних ізотопів; штатні викиди штучних радіоактивних ізотопів атомних електростанцій, втрати радіонуклідів при захопленні радіоактивних відходів та їх переробці.
5. Глобальне забруднення поверхні ґрунту штучними радіоактивними ізотопами внаслідок використання та багаторічних випробувань ядерної зброї, застосування ядерних вибухів у виробництві.
6. Побутові інциденти з радіоактивними природними і штучними джерелами іонізуючих випромінювань.
7. Аварії на підприємствах ядерного паливного циклу, які, як правило, є джерелом штучних радіоактивних ізотопів.

Джерелом вторинного радіоактивного забруднення ґрунту може стати перенесення радіоактивних речовин із забруднених терито-

рій з вітром або стічними водами. Так, у 1967-1970 рр. на Уралі в Челябінській області сталося забруднення території площею близько 1800 км² внаслідок вітрового перенесення радіоактивного пилу з берегів озера Карачай, котре використовувалося для видалення радіоактивних відходів підприємства з виробництва ²³⁹Pu. Було рознесено 6×10^{12} Бк ⁹⁰Sr і $1,7 \times 10^{13}$ Бк ¹³⁷Cs.

За В.В. Медведєвим, автором концепції техніко-економічного вмотивування моніторингу ґрунтів, у тому числі й радіоекологічного моніторингу, його необхідність визначається чотирма основними факторами:

1. Виключною важливістю підтримання ґрунтів у стані, за яким вони зберігають здатність до регуляції циклів біофільних елементів як основи життєдіяльності людини і біосфери.

2. Важливістю контролю і запобіганню негативному розвитку процесів ґрунтоутворення, які мають місце практично на всій сільськогосподарській території в результаті безгосподарської діяльності людини і проявляються в дегуміфікації, ерозії, переущільненні, забрудненні, підкисленні, підтопленні, засоленні, надмірному спрацюванні торфу тощо.

3. Необхідністю істотного підвищення родючості ґрунтів, віддачі від меліорації і хімізації, подолання застійних явищ в урожайності та поліпшення якості сільськогосподарської продукції.

4. Неможливістю вироблення адекватної оцінки сучасного становища ґрунтового покриву на основі існуючої інформації (через застарілі дані ґрунтового обстеження, «усіченість»), орієнтованість лише на обмеженого споживача, неузгодженість матеріалів і різноманітність методик у роботі гідролого-меліоративних експедицій, гідромеліоративної, санітарно-епідеміологічної служби та ін.) і раціонального використання з цієї причини інвестицій для усунення деформаційних явищ.

4.2. Міграція радіонуклідів у ґрунті

Радіоактивні викиди, що надходять до ґрунту з атмосфери, зосереджуються в основному у верхньому 3-5-сантиметровому шарі.

Проте з часом ситуація щодо рівнів радіонуклідного забруднення ґрунту змінюється. Особливо це стосується забруднення штучними радіонуклідами внаслідок радіаційних інцидентів. Головними чинниками, які зумовлюють такі зміни, є міграційні явища.

Під міграцією радіонуклідів у ґрунті слід розуміти сукупність процесів, що ведуть до переміщення радіонуклідів у товщі ґрунту та на його поверхні, і зумовлюють їх перерозподіл за глибиною та в горизонтальному напрямку. У зв'язку з цим виділяють два види міграції – вертикальну і горизонтальну, які відбуваються одночасно.

Вертикальна міграція – це переміщення радіонуклідів з поверхні ґрунту до глибинних шарів; горизонтальна – перенесення по поверхні ґрунту з вітром та з потоками води.

Рух повітря, атмосферні опади, температура довкілля та деякі інші явища, що характеризують особливості погодно-кліматичних умов, відіграють важливу роль у міграції радіонуклідів не лише в атмосфері, але і в ґрунті.

Радіоактивні частинки, потрапляючи на поверхню ґрунту, втягуються у процеси вертикальної міграції у глибину ґрунту, що має досить важливе значення, а саме – зумовлює зниження потужності дози випромінювання радіонуклідів над поверхнею ґрунту, зменшення їх вторинного переносу вітром та поверхневими водами. Водночас може значно змінюватися кількість радіонуклідів, які надходять у рослини, потрапляють до ґрунтових вод.

Швидкість вертикального перенесення радіонуклідів у ґрунті значною мірою обумовлюється механічним та мінералогічним складом ґрунту, його агрохімічними характеристиками, однак головним чином вона залежить від кількості атмосферних опадів.

Частинки найрізноманітніших розмірів з током води можуть проникати углиб тріщинами, утвореними у суху погоду, ходами черв'яків та інших організмів. Це – звичайна *фільтрація* – рух рідини через пористе середовище під впливом гравітаційних сил. Певну роль відіграє *дифузійний рух* – переміщення радіонуклідів у напрямку градієнта концентрації – її вирівнювання; *конвекційне перенесення* – вертикальне переміщення радіонуклідів із водою, викликане зміною її щільності в результаті різниці температур або солоності.

Взагалі процес вертикальної міграції радіонуклідів відбувається досить повільно. Так, у зоні аварії на Чорнобильській АЕС на неораних дерново-підзолистих піщаних ґрунтах легкого механічного складу через 30 років після випадання радіоактивних продуктів практично вся маса радіонуклідів містилася у верхньому 30-сантиметровому шарі (табл. 4.1). На ґрунтах важчого гранулометричного складу з багатим ґрунтовим вбирним комплексом вертикальна міграція радіонуклідів відбувається ще повільніше. На всіх типах ґрунтів ^{90}Sr проникає глибше, ніж ^{137}Cs , що, безперечно, пов'язане з більшою розчинністю стронцію і «старінням» цезію.

Таблиця 4.1

Проникнення ^{90}Sr і ^{137}Cs у товщу ґрунту, %(узагальнені дані- *лучше взять данные T1/2из статьи Иванова 2016, и - вместо 0*)

Шар, см	Дерново-підзолистий				Чорнозем звичайний			
	^{90}Sr		^{137}Cs		^{90}Sr		^{137}Cs	
	1987	2017	1987	2017	1987	2017	1987	2017
0-5	100	5	100	10	100	25	100	50
5-10	0	10	0	20	0	45	0	40
10-15	0	25	0	30	0	15	0	10
15-20	0	30	0	40	0	10	0	0
20-25	0	20	0	0	0	5	0	0
25-30	0	10	0	0	0	0	0	0
30-35	0	0	0	0	0	0	0	0

Велике значення для розповсюдження радіонуклідів на територіях має рух повітря, тобто вітер. В результаті вітрового підняття із поверхні ґрунту і переносу і переносу радіоактивних речовин стає можливим надзвичайно швидке їх переміщення на відстані десятків кілометрів від місця їх випадання, що може обумовити вторинне забруднення або підвищення рівня забруднення чистіших ґрунтів.

Найважливішими факторами, які впливають на вітровий підйом радіоактивних частинок, є швидкість руху повітря та вкриття ґрунту рослинами. Ґрунтові частинки піднімаються швидше із сухої поверхні, розораних полів, схилів, які продуваються вітрами.

Погодно-кліматичні умови справляють помітний вплив на горизонтальну міграцію радіонуклідів – їх перенесення по поверхні ґрунту. При сильних зливових дощах у літньо-осінній період можливий значний змив радіонуклідів із площ водозборів у водойми та забруднення ними річок, озер, водосховищ – джерел питної та поливної води. Аналогічна ситуація може виникнути при формуванні потужного снігового покриву у зимовий період та різкому підвищенні температури весною, коли швидке танення снігу і слабка фільтрація води у мерзлий ґрунт сприяють посиленню перенесення радіонуклідів по поверхні.

В процесах горизонтальної міграції радіонуклідів велику роль відіграють особливості рельєфу місцевості, наявність на ній рослинності. Специфічні нерівності поверхні, лісові насадження та буяння трав'янистих рослин при певних поєднаннях можуть практично повністю затримувати поверхневий перенос радіонуклідів. Водночас круті схили, відсутність рослин посилюють його.

На рис. 4.1 наведена динаміка зміни ступеня радіонуклідного забруднення ґрунту дослідної ділянки з часом після випадіння радіоактивних опадів. Чітко видно, як зменшується забруднення підвищених частин території і збільшується – низинних частин.

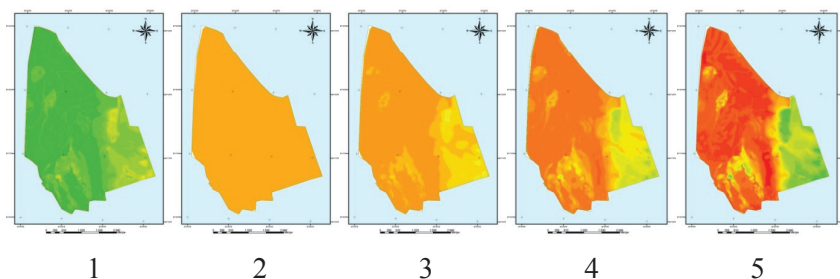


Рис. 4.1. Вплив рельєфу території на горизонтальну міграцію ^{137}Cs по поверхні ґрунту з часом після випадіння радіоактивних опадів при аварії на Чорнобильській АЕС:

- 1 – рельєф території, 2 – рівномірне забруднення у 1986 р.,
 - 3 – через 10 років, 4 – через 20 років, 5 – через 25 років
- (Ю.О. Кутлахмедов, 2012)

Міграційні здатності радіонуклідів у ґрунті та їхнє включення до біологічних циклів обумовлюються великою кількістю властивостей радіонуклідів, ґрунтів, різними факторами навколишнього середовища.

Важливе значення мають фізико-хімічні властивості радіонуклідів як таких. Потрапивши в навколишнє середовище радіонукліди можуть перебувати у різній фізико-хімічній формі – аерозолів, гідрозолів, частинок, сорбованих на різних матеріалах та інших. Їхня рухливість залежить від форми радіонуклідів, в якій вони надійшли в навколишнє середовище.

Так, під час аварії на Чорнобильській АЕС радіоактивне забруднення було зумовлене трьома типами випадань: твердими високо-радіоактивними аерозолями різної дисперсності, газовою фазою окремих радіонуклідів і радіонуклідів, розташованих у графітовій матриці. Останній специфічний тип радіоактивних частинок утворився під час горіння блоків із графіту, який використовується в ядерних реакторах як сповільнювач нейтронів.

Виділяють дві основні групи факторів, які ведуть до зміни рухливості і біологічної доступності радіонуклідів у часі. Перша з них зумовлює так зване «старіння» радіонуклідів. Суть старіння в тому, що з часом внаслідок їхньої дифузії у кристалічну структуру деяких мінералів, утворення різних комплексних сполук, агрегування частинок у крупніші, зменшується їхня рухливість у ґрунті. Добре відоме старіння радіонуклідів цезію, наслідком якого є поступове зниження їхньої доступності для кореневого засвоєння рослинами.

Друга група факторів навпаки, може підвищувати рухливість радіонуклідів. Так, крупнодисперсні частинки з часом у ґрунті під впливом води, кисню, діяльності мікрофлори та інших факторів можуть руйнуватися, перетворюючись у дрібнодисперсні. Радіонукліди, що входять до їхнього складу, переходять із важкодоступних форм у доступніші, які краще розчиняються у ґрунтовому розчині.

Сорбційна здатність ґрунтів щодо деяких радіонуклідів зростає зі збільшенням дисперсності їх механічних елементів. Навіть у межах одного типу ґрунтів залежно від об'єму фракції глинистих частинок вона може змінюватися на порядок. Найміцніше радіонукліди утримуються муловою фракцією.

Дрібнопилуваті і мулисті частинки високодисперсних фракцій ґрунтів містять і найбільшу кількість органічних речовин, які також суттєво впливають на міграцію радіонуклідів.

У крупніших фракціях пилу вміст органічних речовин різко знижується, а в дрібному піску їх майже немає.

Дуже велику кількість органічних речовин (до 90%) містять торф'яні ґрунти. Однак, вони в основному представлені напіврозкладеними рослинними рештками і мають мало гумусу. Мінеральна фракція, в тому числі і дрібнодисперсна, у торф'яних ґрунтах незначна. Невелика і кількість обмінних катіонів. Тому ємність поглинання торф'яних ґрунтів невисока і здатність до утримування радіонуклідів, таких як ^{137}Cs , порівняно низька.

В цілому перераховані властивості ґрунтів формують в них певний неспецифічний рівень здатності до сорбції й утримування радіонуклідів. У порядку зростання здатності різних типів ґрунтів сорбувати радіонукліди їх можна розподілити у такій послідовності: торф'яні–підзолисті–дерново–підзолисті–сірі лісові–лугові–сіроземи–каштанові–чорноземи.

Важливе значення у міграції радіонуклідів у ґрунті мають його агрохімічні властивості. Звичайно радіонукліди знаходяться у ґрунтах в ультрамікрокількостях. Так, при вмісті ^{137}Cs $3,7 \times 10^4$ Бк/м² (1 Кі/км²) – рівень, вище якого ґрунти прийнято вважати забрудненими, масова його концентрація в орному шарі складає $3,9 \times 10^{-12}$ %, а ^{90}Sr – ще менше – $2,4 \times 10^{-12}$ %. Це відповідає приблизно величині 10^{-5} г/м², або 10 г/км². Такі низькі концентрації радіонуклідів у ґрунтах зумовлюють суттєву залежність їх поведінки від вмісту відповідних стабільних ізотопів, елементів, схожих з ними за фізико-хімічними властивостями.

Реакція ґрунтового розчину по-різному впливає на міграцію радіонуклідів. Для більшості з них, у тому числі для ^{90}Sr і ^{137}Cs , при зростанні кислотності знижується міцність закріплення в ґрунті, збільшується рухливість і поглинання рослинами. Деякі радіонукліди, зокрема ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn , при підвищенні рН переходять з іонної форми у різні гідролізні й комплексні сполуки і стають менш доступними для рослин.

Великий вплив на міграцію і доступність радіонуклідів у ґрунтах справляє вміст обмінного кальцію, який характеризує їхню, так звану,

«карбонатність». У багатьох ґрунтах, переважно на недостатньо зволожений територіях, вміст карбонатів досить значний. Зі збільшенням карбонатів надходження ^{90}Sr з ґрунту в рослини знижується.

Зазвичай зменшення надходження ^{90}Sr у рослини на карбонатних ґрунтах пояснюється двома причинами. По-перше, при високому рівні карбонатів може відбуватися необмінна фіксація радіонукліда. По-друге, стронцій і кальцій є хімічними аналогами. При надходженні в рослини, як і взагалі в живий організм, між ними можуть виникати певні конкурентні взаємовідносини, і кальцій, як елемент, вміст якого у земній корі (2,96%) на декілька порядків перевищує загальний вміст стронцію ($3,4 \times 10^{-2}\%$), може виступати у ролі своєрідного дискримінатора, який обмежує надходження стронцію, в тому числі і його радіоактивних ізотопів.

Не тільки з підвищенням карбонатності ґрунту, що спричиняє збільшення в ньому вмісту аніонів CO_3^{2-} , але й із зростанням концентрації аніонів PO_4^{3-} і SO_4^{2-} , збільшується сорбція ^{90}Sr за рахунок співосідання важкорозчинних і слабо засвоюваних рослинами сполук стронцію. Тому в ґрунтах з підвищеним вмістом обмінних форм фосфору і сірки, особливо перших, спостерігається зниження переходу ^{90}Sr у рослини.

Збільшення в ґрунті вмісту обмінного калію знижує міграцію і надходження в рослини ^{137}Cs . З одного боку, це пов'язане з тим, що при великій кількості калію в ґрунті відбувається заміна на нього всіх обмінних катіонів ґрунту, що збільшує сорбцію і закріплення цезію. З іншого – з тим, що між калієм і цезієм, як між хімічними аналогами, виникають конкурентні відносини при надходженні в рослини, схожі з тими, що проявляються між кальцієм і стронцієм.

Поглинання і сорбція радіонуклідів ґрунтом значною мірою залежить від вмісту в ньому відповідних стабільних нуклідів – чим вище вміст стабільних, тим менше радіоактивних закріплюється в ґрунті і більше надходить у рослини. Цей ефект пояснюється простим розбавленням радіонуклідів у ґрунті за рахунок стабільних і зменшенням частки радіоактивних у загальному закріпленні елемента.

На особливу увагу заслуговує один із основних природних радіоактивних «забруднювачів» ґрунту і біосфери – ^{40}K . Його вміст

в орному шарі досить великий – $2,7-21,6 \times 10^4$ Бк/м² (0,7-5,8 Кі/км²). Максимальну радіоактивність за рахунок ⁴⁰К мають ґрунти, що розвивалися на кислих магматичних породах і містять мінерали з великим вмістом калію – біотит, мусковіт, ортоклаз. У процесі господарської діяльності потоки калію, а разом з ним і ⁴⁰К, у біосфері зростають. При середніх нормах внесення калійних добрив 60 кг/га у ґрунт надходить $1,35 \times 10^6$ Бк ⁴⁰К. Разове внесення не призведе до помітного збільшення вмісту ⁴⁰К, але при багаторічному використанні калійних добрив може вплинути на його баланс.

Міграція ⁴⁰К у ґрунті, надходження в рослини і наступний рух ланками біологічного ланцюга повністю визначається поведінкою його стабільних носіїв – ³⁹К і ⁴¹К і залежить від багатьох уже названих властивостей ґрунтів: карбонатності, реакції середовища, вмісту різних катіонів, і в першу чергу натрію, концентрації аніонів та інших. Але при будь-якому зменшенні надходження ⁴⁰К спостерігається і зниження надходження калію в цілому. Він же є одним із основних біогенних елементів.

Таким чином, з часом радіаційна ситуація на забруднених радіонуклідами ґрунтах змінюється. Залежно від цілої низки умов, незважаючи на процеси природного фізичного розпаду радіонуклідів, їх абсолютна кількість у ґрунті, тобто щільність його забруднення, може змінюватись і не лише у бік логічного зменшення, а й у бік збільшення. Все це свідчить про необхідність постійного відстеження стану радіоактивного забруднення ґрунтів, тобто здійсненні їх радіоекологічного моніторингу.

4.3. Об'єкти і методи радіоекологічного моніторингу ґрунтів

Є всі підстави вважати радіоактивне забруднення ґрунту поряд з фізичною, хімічною, біологічною деградацією окремим самостійним типом, котрий як і хімічне забруднення, призводить до втрати родючості. Однак він має дуже важливі специфічні особливості, пов'язані з властивостями радіонуклідів як носіїв іонізуючого випромінювання.

Одним із завдань радіоекологічного моніторингу є періодичний контроль вмісту основних дозоутворюючих радіонуклідів, впливу природних та антропогенних чинників на динаміку їх змін. Об'єктами радіоекологічного моніторингу можуть бути будь-які типи, підтипи, роди, види і різновиди ґрунтів, які знаходяться у межах територій радіонуклідного забруднення. Враховуючи, що для достовірної оцінки ґрунтів, і особливо, прогнозу їх родючості, необхідна інформація про клімат, ґрунтоутвірні породи, води (поверхневі або в крайньому випадку – першого горизонту підґрунтових вод), кількість і якість рослинної продукції, перераховані компоненти також включають до об'єктів моніторингу. Такий підхід дає змогу суміщати ґрунти з іншими елементами середовища і при аналогічній розробці моніторингу фауни, флори і людини отримати цілісне уявлення про радіоекологічний стан біосфери.

Радіоекологічний стан ґрунтів достовірно діагностується за наявності загальної інформації про них за такими показниками: тип ґрунту, структура ґрунтового покриву, вміст гумусу й основних елементів живлення рослин, рН, ємність вбирання, фізичний, водний, повітряний і поживний режим, біологічна активність ґрунтів, оцінка інтенсивності прояву ерозії, показники меліоративного стану (якість зрошувальних вод, рівень і мінералізація підґрунтових вод, засоленість ґрунтів у цілому і зони аерації; вторинне осолонцювання, темпи спрацьовування осушених торфовищ, трансформація органічних речовин, вторинне озалізнєння) і вресгті, рівень забруднення окремими радіонуклідами.

Перелік польових і лабораторних аналітичних робіт залежить від мінімально необхідної кількості показників, які докладно характеризують вищезгадані процеси. Періодичність досліджень визначається динамікою зміни радіаційного фону і рівнем радіонуклідного забруднення певним чи певними радіонуклідами.

Спостереження виконуються наземними і дистанційними методами, відпрацювання кореляційних зв'язків між якими є окремим спеціальним завданням, яке передбачає сучасне математичне забезпечення, включаючи принципи створення банку даних, автоматизовані системи обробки і видачі інформації, способи поточного і довготривалого прогнозів.

4.4. Проведення гамма-зйомки над поверхнею ґрунту

Внаслідок радіоактивних випадівь виникає поверхнєве забруднення місцевості. Поступово протягом тижнів–місяців–років під впливом різних вище згаданих процесів радіоактивні продукти починають проникати у глибину ґрунту або разом із частинками-носіями, або при змиві з поверхні цих частинок, або при їх руйнуванні. В результаті утворюється об'ємне забруднення верхнього шару ґрунту товщиною у декілька сантиметрів. Так, у перші декілька місяців після випадівь радіоактивних речовин внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, у верхньому 3-5-сантиметровому шарі дерново-підзолистого ґрунту містилося до 95% усієї радіоактивності і, як свідчить табл. 4.1, тільки через 30 років довгоживучі радіонукліди ^{137}Cs і ^{90}Sr , заглибилися до 20-25 см. Таким чином, над слідом радіоактивної хмари, який виникає на місцевості внаслідок ядерного вибуху або аварії на підприємствах ядерного паливного циклу, формується певне радіоактивне поле. Зазвичай його називають гамма-полем (не плутати зі спеціально створеним гамма-полем, на якому вирощують рослини для вивчення хронічної дії іонізуючої радіації). Як правило, потужність радіаційного фону (гамма-фону) в таких умовах оцінюється за допомогою переносних дозиметрів-рентгенометрів.



Рис. 4.3. Проведення оцінки радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь

Методи радіоекологічного моніторингу ґрунтів насамперед передбачають проведення гамма-зйомки, тобто оцінки (визначення) потужності радіаційного (γ - та β -) фону. Гамма-зйомка території є найоперативнішим способом визначення масштабів і ступеня радіоактивного забруднення ґрунту на сільськогосподарських і лісових угіддях (рис. 4.3).

Гамма-зйомка проводиться по регулярній мережі галсами на висоті 1 м від поверхні ґрунту. Точки вимірювання розташовують на маршрутних лініях відстанню не більшою 100 м одна від одної. У випадку, коли максимальні відхилення відрізняються від середнього значення потужності гамма-дозы більше ніж на 30%, ділянка вважається забрудненою неоднорідно. У місцях локальних неоднорідностей виконують додаткову гамма-зйомку з метою виявлення їх меж і виділення рівномірно забруднених елементарних ділянок, на яких розміщують пробні майданчики. Розташування пробних майданчиків має відповідати таким вимогам: вибране місце має бути максимально горизонтальним, рівним, з однорідним рослинним покривом без наявних порушень цілісності поверхні; найближчі будівлі та дерева мають бути розташовані на відстані не ближче двох їхніх висот від пробного майданчика; пробний майданчик має бути розташований не ближче 20 м від доріг і місць акумулювання або змиву радіоактивного забруднення на поверхні ґрунту. Відстань між місцями відбору точкових проб ґрунту на пробному майданчику чи між пробними майданчиками має бути не меншою 1 м. Для центру пробного майданчика визначають географічні координати, які заносять у паспорт проби і журнал обстеження. При обраних параметрах пробовідбору та вимірювання активності радіонуклідів мінімально необхідне число проб ґрунту для оцінки медіани щільності радіоактивного забруднення (питомої активності) ґрунту на елементарному майданчику визначається з СОУ 74.14-37-424:2006. Зазвичай рекомендується компонувати одну середню пробу не менше, ніж із 5-10-ти точкових проб для кожного контрольного майданчика. Максимальна точність визначення рівня радіоактивного забруднення ґрунту встановлюється приведеною в сертифікаті відносною похибкою вимірювань активності конкретного використовуваного приладу.

Для оцінки потужності дози можна використовувати дозиметри-радіометри різних систем – від найпростіших типу МКС-05 «Терра» до професійних, таких, що працюють як спектрометри, з кристалами CsI із автоматичним визначенням координат та передачею даних онлайн: КАДМІЙ (нове покоління), дозиметр-сигналізатор пошуковий ДКС-02ПН, СПЕКТРА (нове покоління), дозиметр-радіометр пошуковий МКС-11ГН, МКС-У, дозиметр-радіометр універсальний МКС-УМ та інших. Дані гамма-зйомки наносять на плани землекористування у масштабі 1:10000. Гамма-зйомка дає можливість за досить короткий час встановити межі радіоактивного забруднення місцевості, виділити особливо забруднені території.

Визначення забруднення місцевості окремими ізотопами зазвичай проводиться шляхом аналізу відібраних проб у лабораторних умовах. Але за великих масштабів радіоактивного забруднення території з метою оперативного отримання інформації про радіаційну обстановку застосовується дистанційна аерорадіометрія з безпілотних літальних апаратів, вертольотів, літаків і, навіть, супутників. Безперечно, у певних, порівняно невеликих обсягах, її можна проводити за допомогою безпілотних літальних апаратів різних конструкцій, які останнім часом з'явилися на оснащенні деяких служб. Аерорадіометрія дозволяє провести зйомку забрудненої місцевості швидко і на великій площі. Основний її недолік полягає у тому, що з допомогою цього методу важко отримати дані про ізотопи з енергією гамма-випромінювання меншою 0,3 МеВ.

Проте, основним штучним довгоживучим радіонуклідом, який здебільшого супроводжує аварійні викиди на підприємствах ЯПЦ, у тому числі на найкрупніших аваріях нашого часу – Чорнобильській АЕС і АЕС «Фукусіма-1», є ^{134,137}Cs, енергія якого складає 605 кеВ, 796кеВ та 662 кеВ. Тому оцінка забруднення території за допомогою літальних апаратів, **у тому числі супутників**, не створює особливих труднощів.

Оцінка потужності гамма-поля над радіоактивним слідом в умовах наземного вимірювання, як і відбору зразків, труднощів не становить, тому що завжди можна вибрати відкриту ділянку місцевості, яка б відповідала певним вимогам (достатньо рівна, не вкрита рослинністю). В умовах дистанційного зондування з найчастіше

прийнятої висоти 200 м це можливе лише над пустельною поверхнею, наприклад, на Семіпалатинському полігоні, на якому випробувалася ядерна зброя Радянським Союзом, чи у пустелі штату Невада, де випробували атомні бомби США, у пустелі Сахара, в якій випробувала свої бомби Франція.

У випадку, якщо радіоактивні продукти випали у вкритому рослинністю районі, рослинний покрив може у значній мірі екранувати гамма-випромінювання забрудненої місцевості, що буде особливо помітним у зоні багатоярусних лісових насаджень.

На показники спектрометрії впливають також такі чинники, як рельєф поверхні землі, атмосферний тиск, температура навколишнього середовища, вологість повітря. Враховуючи ці фактори можна за оцінкою потужності дози P на деякій висоті h (наприклад, з літака під час гамма-зйомки сліду) визначити потужність дози P_H біля поверхні землі на висоті H в 1 м:

$$P_H = P(h) K_H(h) \eta_n(h) \eta_l(h) \eta_p(h) \eta_t(h) \eta_w(h) \text{ (Израэль Ю.А., 1996, с. 342),}$$

де $K_H(h)$ – перерахований висотний коефіцієнт з висоти H на висоту h для ідеальної рівної поверхні і стандартної атмосфери; $\eta_i(h)$ – поправочні коефіцієнти, які враховують вплив реальних умов: $\eta_n(h)$ – нерівностей земної поверхні, $\eta_l(h)$ – рослинного, головним чином, лісового покриву, $\eta_p(h)$ – атмосферного тиску, $\eta_t(h)$ – температури, $\eta_w(h)$ – вологості повітря.

Величина $K_H(h)$ для $1 \text{ м} \leq H \leq 200 \text{ м}$ слабо залежить від первинної енергії гамма-випромінювання у певному інтервалі енергій випромінювань продуктів ядерного поділу. Значення поправочних коефіцієнтів η_p , η_l , η_w близькі до одиниці. Решту, втім як і точні значення попередніх, можна знайти у певних матеріалах, зокрема – згаданій роботі Ю.А. Израеля.

4.5. Відбирання проб ґрунту

Для контролю за радіоактивним забрудненням ґрунту та відстеженням динаміки забруднення необхідне кількісне визначення вмісту окремих радіонуклідів у пробах ґрунту, відібраних безпо-

середньо на забрудненій території згідно СОУ 74.14-37-425:2006 "МЕТОДИ ВІДБОРУ ПРОБ ҐРУНТУ ДЛЯ РАДІАЦІЙНОГО КОНТРОЛЮ". При проведенні відбору проб ґрунту, як і інших об'єктів (рослин, води, продукції), найважливішою та необхідною умовою має бути дотримання таких основних принципів:

- прив'язки місця відбору до географічних координат чи плану місцевості;

- показності проби (репрезентативності вибірки);
- достатності проби (оптимальна кількість),

Показність, або репрезентативність проби (вибірки) ґрунту забезпечується кількістю відібраних проб із одиниці площі. При однорідному ґрунтовому покриві (не плямистому за гамма- чи бета-фоном) забрудненої території проби відбирають «методом конверта», тобто в п'яти точках (кути і центр квадрата зі стороною 100 м) вибирається шар розміром 15×15 см глибиною 5 см. Контрольні точки відбору проб повинні бути віддалені від доріг не менше, ніж на 200 м. Остаточна проба (1 кг) складається з п'яти добре перемішаних зразків із заздалегідь видаленою рослинністю.

При нерівномірному забрудненні поля чи ділянки або неоднорідному ґрунтовому покриві його ділять на декілька частин із однорідними умовами, з яких і відбирають проби також методом конверта.

Проби ґрунту бажано відбирати за допомогою спеціальних бурів-пробовідбірників (рис. 4.4) на глибину до 20-25 см. Вони дозволяють взяти як загальний зразок ґрунту з орного шару, так і пошарові зразки.

Такий бур, призначений для взяття проб ґрунту, може використовуватися і для відбору донних відкладень у водоймах, про що буде говоритися у наступному розділі. Бур – це металевий наконечник з хімічно стійкої загартованої сталі, який з'єднується зі штангою. Штанга, в залежності від конструкції, для необхідної глибини взяття проби може подовжуватися до потрібної довжини іншою штангою, що є у комплекті. Подовжена штанга кріпиться стопорними гвинтами. На кінці вона має рукоятку для обертання пробовідбірника. На пробовідбірник нанесені риси за глибиною відбору проб.



Рис. 4.4. Пробовідбірники ґрунту різних систем

За відсутності буру зразки ґрунту відбирають лопатою, совком, ножем. Для відбору загального зразка ґрунту на глибину орного шару роблять прикопку глибиною на штик лопати, у котрій із рівної стінки, заглиблюючи лопату на весь штик, зрізують шар ґрунту товщиною 5-7 см. Ґрунт виймають лопатою, кладуть на горизонтальну поверхню, далі ножем прямо на лопаті формують стовпчик проби ґрунту, висота якого дорівнює глибині відбору, а ширина – близько 10 см. За необхідністю цей стовпчик можна розділити на пошарові зразки.

Інший метод взяття пошарових зразків без буру полягає у відборі проб із ґрунтового шурфу, викопаного на необхідну глибину. У цьому випадку ґрунт обережно відбирають на одній стороні шурфу знизу до верху так, щоб радіоактивні частинки з верхніх шарів не попали у проби нижчих шарів.

Достатність, або оптимізація кількості проби, забезпечується відбором необхідної для аналізів наважки ґрунту. Все залежить з одного боку від кількості радіонуклідів в ґрунті, а з іншого – від методу аналізу. При достатній концентрації в пробі радіонуклідів, котрі забезпечують дозволяючи можливості приладу чи методу, її об'єм може бути рівним об'єму ємкості, у котрій проводиться радіо-

метрія. В іншому випадку відбирають більші об'єми проб, у яких потім за допомогою різних методів концентрують радіонукліди.

Відібрані проби ґрунту найкраще впакувати до двох поліетиленових пакетів, між котрими вкладають етикетки, на яких вказується характер проби. Упаковуючи проби вологого ґрунту необхідно пам'ятати, що при тривалому зберіганні вони можуть загнитися, запліснявіти, що впливає на фізико-хімічні властивості радіонуклідів, точність оцінки їхньої питомої активності.

На забруднених після радіаційних чи ядерних інцидентів територіях здійснюють наступні види відбору проб ґрунту: оперативний, плановий і контрольний.

Оперативний відбір проб ґрунту проводять у перший гострий післяаварійний період (перші дні-місяці після аварії). Мета цього відбору проб – швидке уточнення радіаційної ситуації на забрудненій території та визначення основних параметрів радіоактивного забруднення без зайвої деталізації. Головним його завданнями є визначення ізотопного складу та щільності радіоактивного забруднення території. Особливість відбору проб ґрунту у цей період полягає в наступному: радіонукліди у ґрунті перебувають іще у верхньому 2-3-сантиметровому шарі, тому проби відбирають металевим або пластмасовим кільцем діаметром 8-10 см і висотою 5 см, з якого ґрунт видавлюють акуратно, не порушуючи форми, у поліетиленовий пакет, куди й кладуть етикетку. В такому вигляді пробу можна аналізувати на гамма-аналізаторі, помістивши безпосередньо на детектор.

Плановий відбір проб ґрунту проводять у період стабілізації радіаційної ситуації, котрий триває від одного-двох місяців до одного-двох років після аварії. Такий відбір спрямований на уточнення радіаційної обстановки на забрудненій території, визначення питомої активності ґрунту в різні часи періоду, отримання основних кількісних параметрів вертикальної та горизонтальної міграції окремих радіонуклідів у динаміці.

Контрольний відбір проб ґрунту проводять для уточнення і перевірки результатів моніторингу, які з різних причин можуть викликати сумніви.

4.6. Підготовка проб ґрунту до радіометрії і спектрометрії

Для отримання коректних результатів радіометрії і спектрометрії, а також порівняння результатів вимірювання, проби ґрунту мають бути стандартизовані за основними фізичними властивостями – вологістю й дисперсністю. Вирівнювання зразків за вологістю здійснюють шляхом висушування при температурі 105°C до повітряно-сухої маси. Однакова дисперсність проби досягається її подрібненням та просіюванням на ситі з діаметром отворів 1-2 мм.

Приймання та попередню обробку доставлених проб проводять у спеціальному приміщенні, обладнаному витяжними й сушильними шафами, муфельними печами, пристосуваннями для миття посуду, тари і, в разі потреби, проб.

Проби, що надійшли, звіряють з описом, перевіряють радіоактивність поверхні упаковки кожної проби, використовуючи вищезгадані індикаторні прилади КАДМІЙ (нове покоління), або дозиметри-сигналізатори пошукові ДКС-02ПН, СПЕКТРА (нове покоління), або МКС-11ГН, МКС-У та інші. Проби з високим рівнем забрудненості досліджують з дотриманням заповіжних засобів.

Проби ґрунту перед приготуванням середньої проби ретельно перемішують і піддають різній підготовчій обробці залежно від цілей дослідження. У разі потреби швидкого результату щодо забрудненості проби і виявлення індикаторними приладами підвищеної активності досліджуваних проб, застосовують експрес-методи, які не вимагають попередньої обробки проб та їх зважування.

Якщо ж активність проби невелика, то для ретельного виявлення радіоактивних речовин здійснюють збагачення проб шляхом висушування. Для цього подрібнені й зважені проби ґрунту підсушують на сонці або в приміщенні, а потім у сушильній шафі при температурі 80-100°C до постійної маси. Готову пробу золу розтирають до консистенції дрібного порошку зворотним (вузьким) кінцем товчача, зважують і проводять радіометричні виміри.

4.7. Визначення щільності радіонуклідного забруднення ґрунту

Наступним етапом радіоекологічного обстеження ґрунтів є визначення щільності їхнього радіонуклідного забруднення згідно СОУ 74.14-37-424:2006 (ВИЗНАЧЕННЯ ЩІЛЬНОСТІ ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ). Знання видів радіонуклідів, рівнів забруднення, типів ґрунтів, видів сільськогосподарських культур, які вирощуються та вирощуватимуться у надалі відповідно до сівозмін, дозволяють оперативно прогнозувати ситуацію щодо можливості радіонуклідного забруднення також і продукції рослинництва.

Це досягається радіометрією зразків ґрунту на відповідних при-ладах чи за допомогою радіаційно-хімічних методів аналізу.

4.8. Методологічні підходи до прогнозування радіоактивного забруднення ґрунтів

У більшості випадків, пов'язаних з ядерними чи радіаційними інцидентами, найсильнішого радіонуклідного забруднення зрештою зазнає поверхня Землі – ґрунти і водойми. Проте, якщо при забрудненні водойм концентрація радіоактивних речовин досить швидко зменшується за рахунок розбавлення у великих об'ємах води і значною мірою виходить із зони безпосереднього забруднення, як це частково сталося за аварії на АЕС «Фукусіма-1», то у випадках забруднення суходолу, тобто ґрунту, вона піддається змінам досить повільно. В радіоекології існує поняття «час напівочищення ґрунту від радіонукліду», що означає час, протягом якого радіоактивність ґрунту внаслідок природних і, можливо, штучних, факторів зменшується вдвічі. Безперечно, якщо мова йде про довгоживучі штучні радіонукліди, то основну роль тут відіграє процес фізичного розпаду – тобто час піврозпаду радіонукліду, який не залежить від будь-яких чинників і є постійною величиною. Проте, існує багато інших чинників природного характеру, що суттєво впливають на очищення ґрунту від радіонуклідів, провідна роль в якому належить згаданим вище процесам їх вертикальної та горизонтальної міграції. Така міграція у свою чергу залежить від типу ґрунту та

особливостей його агрохімічних характеристик, рельєфу місцевості, кількості атмосферних опадів, температури та інших кліматичних показників. Безперечно, велике значення мають хімічні й фізико-хімічні особливості радіонукліду як хімічного елемента.

Звичайно, у ґрунтах легкого гранулометричного складу процеси вертикальної міграції радіонуклідів відбуватимуться швидше, ніж у ґрунтах важкого складу, і, так само швидше проходитиме очищення ґрунту. У табл. 4.1 наведені дані порівняльної динаміки проникнення ^{90}Sr і ^{137}Cs у товщу дерново-підзолистого ґрунту і чорнозему протягом 30 років на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. Вони свідчать, що проникнення обох радіонуклідів у товщу дерново-підзолистого ґрунту відбувається значно швидше, ніж у товщу чорнозему. При цьому міграція ^{90}Sr відбувається швидше, ніж ^{137}Cs , що з одного боку пов'язане з дифузією ^{137}Cs у кристалічну решітку деяких мінералів, а, з іншого, – з більшою розчинністю ^{90}Sr .

Цілком зрозуміла й роль рельєфу в цьому процесі – з роками відбувається змивання радіонуклідів з підвищених місць у низовину, перенесення їх з потоками води у водойми.

Без сумніву, на рівень забруднення ґрунту радіонуклідами впливають і штучні фактори, у першу чергу радіозахисні – так звані контрзаходи, які використовують з метою зменшення надходження радіонуклідів у продукцію рослинництва. Насамперед, це належить до таких радикальних прийомів, як зняття верхнього забрудненого радіонуклідами шару ґрунту, глибока оранка з обертанням скиби, які широко застосовувалися в Японії при мінімізації наслідків аварії на АЕС «Фукусіма-1». В Україні ж основним прийомом було вапнування кислих ґрунтів та внесення підвищених норм калійних і фосфорних добрив, внесення органічних добрив.

Дані, наведені у табл. 4.3, свідчать, що після аварії на Чорнобильській АЕС з часом ефективність контрзаходів зі зменшення надходження радіонуклідів у рослини знижується, а роль природних процесів, у яких основна частка припадає на розпад радіоактивних ядер, зростає. Тому є всі підстави вважати, що з перенесенням радіоактивності у глибші шари роль цього процесу стане вирішальною.

Таблиця 4.3

**Відносний внесок природних процесів і контрзаходів
у зменшенні переходу ^{137}Cs з ґрунту
в продукцію рослинництва, %**

Процеси і заходи		Період					
		1986-1996		1986-1996		1986-1996	
Природні процеси	Розпад ядер	20	50	40	70	50	80
	Вертикальна міграція	20		20		20	
	Горизонтальна міграція	5		5		5	
	Винос з рослинністю	5		5		5	
Штучні процеси	Вапнування	25	50	15	30	10	20
	Внесення добрив	25		15		10	

Велика кількість спроб змоделювати процеси подальшої поведінки радіонуклідів у ґрунті з метою прогнозу, зважаючи на величезну кількість чинників, багато яких врахувати важко, не виявилася досить вдалою.

Насамкінець, слід відзначити, що для порівняльних оцінок родючості ґрунтів обов'язково проводиться бонітування ґрунтів – оцінювання родючості за їхніми природними особливостями та продуктивністю, виражене у 100-бальній системі. В Україні цей показник варіює від 22-32 балів для дерново-підзолистих піщаних і глинисто-піщаних ґрунтів, до 65-100 балів – для різних видів чорноземів. Безперечно, процеси деградації впливають на таку «бальність». Традиційно деградованими ґрунтами прийнято вважати такі, що погіршили окремі свої властивості й зменшили родючість унаслідок несприятливих природних процесів, зокрема, ерозії. Однак, останнім часом до чинників деградації стали зараховувати й антропогенні чинники, у тому числі забруднення різними токсикантами і радіонуклідами. Ступінь радіонуклідного забруднення не може не впливати на ціноутворення ґрунту.

Саме тому радіоекологічний моніторинг ґрунтів у час, коли вирішується проблема ринкового відношення до землі як основного багатства нашої країни, набуває особливого значення.

Контрольні запитання до розділу 4:

1. *Що таке радіоекологічний моніторинг ґрунтів та основна його мета?*
2. *Джерела забруднення ґрунтів природними та штучними радіонуклідами.*
3. *Види міграції радіонуклідів у ґрунті.*
4. *Основні й супроводжуючі об'єкти радіоекологічного моніторингу ґрунтів.*
5. *Суть і завдання гамма-зйомки території.*
6. *Основні вимоги до технології відбирання проб ґрунту.*
7. *Що таке «репрезентативність вибірки» і як вона досягається при відборі проб ґрунту?*
8. *Основні прийоми підготовки проб ґрунту до радіометрії та спектрометрії.*
9. *Можливості прогнозування поведінки радіонуклідів у ґрунті.*

РОЗДІЛ 5. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ ВОДОЙМ

5.1. Джерела надходження радіоактивних речовин у водойми. 5.2. Завдання радіоекологічного моніторингу водойм. 5.3. Методи відбору проб води та оцінювання їхньої радіоактивності. 5.4. Захист водойм від надходження радіонуклідів. 5.5. Оцінювання та прогнозування радіоактивного забруднення води.

Україна належить до держав з порівняно низьким водоресурсним потенціалом, тому в країні, як і в більшості країн світу, все гострішою стає проблема виснаження водних ресурсів унаслідок їхнього техногенного забруднення. З огляду на це важливою складовою раціонального водокористування є моніторинг водойм, який виконується Державним агентством водних ресурсів, гідрометеорологічною та гідрологічною службами та деякими іншими організаціями. Попри те, що в країні виконується достатньо великий обсяг спостережень, існуюча система моніторингу, у тому числі й радіоекологічного, має низку проблем. До числа найголовніших належить технічна відсталість, нестача лабораторного обладнання, доволі значна закритість результатів. Відсутність автоматизованих спостережень на більшій частині території країни обумовлює неможливість адекватного реагування на ризики природного і техногенного характеру. Негативною обставиною є зменшення кількості пунктів спостереження і спрощення їхніх програм.

Радіонуклідне забруднення водних ресурсів для України наразі не є головною проблемою. Навіть у гострий період розвитку аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. питна вода, незважаючи на великі рівні радіонуклідного забруднення більшості об'єктів навколишнього природного середовища, як правило, відповідала тимчасовим допустимим рівням вмісту радіонуклідів, що зумовлювалося специфікою фізико-хімічного стану радіонуклідів у складі слаблорозчинних у воді аерозолів з великою питомою масою. Однак, майже всі великі річки України транскордонні, тому небезпека радіоактивного забруднення може надійти ззовні.

Вивчення розподілу радіоактивних речовин у водних екосистемах викликає практичний і теоретичний інтерес насамперед у зв'язку з експлуатацією підприємств атомної енергетики, а також у рамках дослідження загальних закономірностей міграції й концентрування природних і штучних радіонуклідів різними компонентами гідробіоценозів та участі в цих процесах живих організмів, що необхідно для розуміння і подальшого прогнозування наслідків радіонуклідного забруднення, процесів природного самоочищення водних екосистем для ефективного пошуку шляхів відновлення їх нормального функціонування, а також для виконання заходів, пов'язаних із забезпеченням радіаційної безпеки найбільш радіочутливих видів гідробіонтів і людини. Досить важливим з одного боку є отримання відомостей про долю радіоактивних речовин, що надходять у водойми, а з іншого – вирішення важливих практичних задач, пов'язаних із розробкою методів біологічного очищення й дезактивації водних екосистем, які опинилися в умовах інтенсивного радіонуклідного забруднення.

Під радіоактивним забрудненням води слід розуміти вміст у ній природних або штучних радіонуклідів у таких кількостях, у яких її споживання у якості питної чи поливної води може завдати шкоду для здоров'я людини.

Радіоекологічний моніторинг водойм – це система послідовних спостережень над рівнем радіоактивного забруднення води, а також збирання, оброблення даних про рівень радіоактивності окремих його компонентів (гідробіонтів, донних відкладень та інших), прогнозування їхніх змін та опрацювання науково обґрунтованих рекомендацій щодо розробки заходів захисту водойм від радіоактивного забруднення, для прийняття рішень, які можуть позначитися на стані вод.

5.1. Джерела надходження радіоактивних речовин у водойми

Розрізняють три основних первинних джерела надходження радіонуклідів у водойми:

– аеральне – випадіння радіоактивних ізотопів, як природних, так і штучних, з атмосфери на дзеркало водойм;

– розчинення у водоймах радіоактивних елементів та ізотопів земної кори;

– радіоактивні скиди.

Вторинне забруднення водойм радіоактивними речовинами формується в результаті:

– вітрового підйому й перенесення радіоактивного пилу з суходолу на дзеркало водойм;

– змиву радіоактивних речовин із площин водозборів під час дощів, сніготанення, весняних паводків;

– змиву радіоактивних речовин із берегів забруднених радіонуклідами територій під час повеней;

– переносу радіонуклідів водними потоками малих і великих річок.

Радіоактивність гідросфери формується за рахунок природних радіонуклідів, що надходять у водні екосистеми з атмосфери та земної кори, а також і внаслідок забруднення штучними радіонуклідами, викликаного діяльністю людини – при випробуваннях ядерної зброї, видаленні в навколишнє середовище радіоактивних відходів, розробки радіоактивних руд та при аварійних ситуаціях на підприємствах ядерного паливного циклу.

Природні радіонукліди надходять у відкриті водойми з атмосфери, утворюючись при взаємодії космічного випромінювання з ядрами водню, азоту, кисню, аргону та іншими (космогенні радіонукліди). До основних космогенних радіонуклідів, які потрапляють на водну поверхню і території водозборів переважно з атмосферними опадами, належать ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{26}Al , ^{32}P , ^{36}Cl .

Іншим важливим джерелом природної радіоактивності прісних вод є радіонукліди, які мігрують у відкриті водойми з підземними водами з гірських порід, що складають товщу земної кори (так звані первинні радіонукліди). Найбільше дозоформує для санітарно-гігієнічне значення для водних організмів і людини мають ^{14}C , ^{40}K , ^{210}Pb , ^{222}Rn , ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{232}Th , ^{238}U . Максимальна кількість ^{226}Ra , ^{232}Th ^{238}U зустрічається в магматичних породах, наприклад, у гранітах, а мінімальна – у вапняках. Калій, торій і радій, як правило, мають тенденцію концентруватися в гірських

породах із високим умістом кремнію. Такий розподіл обумовлює підвищену радіоактивність підземних вод, приурочених до гранітів, і відносно малі концентрації радіоактивних речовин у підземних водах, які знаходяться у товщі осадових порід. Ця обставина набуває важливого значення при оцінці ролі підземних вод у збагаченні радіоактивними речовинами вод поверхневих водойм.

На формування природної радіоактивності поверхневого стоку в межах водного басейну також може впливати вміст радіонуклідів, які знаходяться в ґрунтовому покриві, що значною мірою залежить від характеру підстилаючих порід, питомої радіоактивності, типу ґрунтів, їхнього гранулометричного, хімічного, мінералогічного складу та деяких інших факторів.

Умови збагачення підземних вод природними радіонуклідами різноманітні та складні. Вони визначаються комплексом геологічних, гідрологічних і фізико-хімічних процесів. При цьому, з одного боку, підземні води впливають на вміст радіонуклідів у гірських породах, а з іншого – вміст радіонуклідів у підземних водах визначається формою знаходження і концентрацією радіоактивних елементів в гірських породах. Між вмістом радіонуклідів у гірських породах та їхньою кількістю у водах, що контактують із цими породами, існує динамічна рівновага.

Одним із прикладів міграції природних радіонуклідів із товщі земної кори на поверхню можуть слугувати так звані радіоактивні джерела. До них належать виходи на поверхню підземних вод, у яких міститься радону більше ніж 18,5 Бк/л, радію – більше ніж 0,37 Бк/л, урану – більше ніж 3×10^{-5} г/л. У деяких випадках кількість радіоактивних елементів може досягати таких значень, що вода стає джерелом їхнього отримання. Так, аж до п'ятдесятих років минулого століття у деяких місцях Радянського Союзу, зокрема у республіці Комі поблизу м. Ухта (Росія) забруднені солями радію ґрунтові води були одним із основних джерел одержання радію для цілей радіаційної терапії злоякісних новоутворень. Заміна йому була винайдена лише з розробкою методів одержання штучних радіоактивних ізотопів, зокрема ^{60}Co і ^{137}Cs .

Різноманіття реальних і потенційно можливих чинників техногенного забруднення радіоактивними речовинами поверхневих водойм може бути розділене на три основні групи: радіоактивні відходи, продукти ядерних і термоядерних вибухів, а також такі, що сформувалися в результаті аварійних ситуацій на підприємствах ядерного паливного циклу.

Основними джерелами радіоактивних відходів є підприємства, на яких видобувається та переробляється радіоактивна сировина для отримання ядерного палива, енергетичні ядерні установки, а також установи (наукові, медичні та інші), котрі виконують роботи з радіоактивними ізотопами.

За агрегатним станом розрізняють рідкі, тверді та газоподібні радіоактивні відходи. При цьому провідна роль у забрудненні водойм належить рідким радіоактивним відходам уранових копалень і заводів, ядерних реакторів, радіохімічних заводів, а також відходам науково-дослідних і медичних установ. Видалення рідких відходів у водойми зазвичай носить досить тривалий характер, що зумовлює, відповідно, і тривалий період забруднення водойм.

Величезна кількість радіоактивних речовин утворюється в результаті ядерних вибухів при випробуванні ядерної зброї та проведенні промислових вибухових робіт. Наразі на Землі не існує поверхневих водойм, вода яких не містить таких довгоживучих радіонуклідів як ^{90}Sr і ^{137}Cs , джерелами котрих стали випробування ядерної зброї. Залежно від характеру й умов проведення таких випробувань утворюються радіоактивні аерозолі різних розмірів, структури і складу, що впливають на особливості формування і надходження радіоактивних випадань у водойми.

Основної уваги як чинник забруднення гідросфери заслуговують стратосферні (глобальні) випадання. Внаслідок тривалої затримки в стратосфері короткоживучі нукліди розпадаються, залишаються переважно довгоживучі, з яких домінуючу роль як забруднювачів знову ж таки відіграють добре розчинні у воді ^{90}Sr і ^{137}Cs .

Аварійні ситуації на підприємствах ядерного паливного циклу належать до найдраматичніших подій, що відбуваються у галузі

атомної енергетики, а наймасштабніші з них супроводжуються значним надходженням радіоактивних речовин у навколишнє середовище, в тому числі й водні екосистеми.

Розрізняють радіоекологічний моніторинг континентальних поверхневих водойм і світового океану.

Безперечно, основним компонентом континентальних прісних водойм є вода, яка формує головний компартмент всього живого – питну воду. При радіоактивному забрудненні прісних водойм саме питна вода може стати основним дозоутворюючим джерелом опромінення людини.

На Землі є немало місць, де природні водні джерела містять підвищену кількість природних радіоактивних елементів. Є вони і в Україні – у Київській, Житомирській, Полтавській та в інших областях. Такі води застосовуються як лікувальні – бальнеологічні. Споживати воду з таких джерел як питну не рекомендується.

Є на нашій планеті місця, де водойми забруднені штучними радіонуклідами. Так, на Південному Уралі у регіоні м. Челябінська (Росія) протягом 1949-1952 рр. у р. Теча, що входить до басейну великої Сибірської р. Об, з підприємств, що виконували програму так званого ядерного захисту СРСР, видалялися без очищення високорадіоактивні рідкі відходи. Разом було скинуто $1,2 \times 10^{16}$ Бк ^{90}Sr (більше, ніж було викинуто під час аварії на Чорнобильській АЕС) і $1,3 \times 10^{16}$ Бк ^{137}Cs . У 1967-1970 рр. там же, на Уралі, сталося забруднення території площею майже 1800 км² завдяки вітровому перенесенню радіоактивного пилу з берегів озера Карачай, яке також використовувалося для захоронення радіоактивних відходів. Було рознесено 6×10^{12} Бк ^{90}Sr і $1,7 \times 10^{13}$ Бк ^{137}Cs .

До потенційних забруднювачів радіоактивними речовинами вод світового океану належать ядерні реактори й атомне озброєння підводних човнів, які затонули з різних причин; відпрацьовані ядерні реактори, затоплені в морях із метою захоронення, котрі ще містять ядерне паливо та продукти його розпаду; втрачені штучні супутники з ядерними реакторами, як, наприклад, два радянських супутники із серії «Космос», які впали в океанічні води.

5.2. Завдання радіоекологічного моніторингу водойм

Основними завданнями радіоекологічного моніторингу водойм є такі:

- спостереження та контролювання рівня радіонуклідного забруднення води;
- вивчення фізико-хімічних форм і динаміки вмісту окремих радіонуклідів у компонентах водойм (воді, донних відкладеннях, біоті);
- дослідження закономірностей виносу радіоактивних речовин через гирлові створи річок у водойми;
- розробка рекомендацій щодо захисту водойм від радіонуклідного забруднення та очищення їх від радіонуклідів;
- прогноз можливого радіонуклідного забруднення водойм у випадку радіоактивного забруднення території.

5.3. Методи відбору проб води та оцінювання їхньої радіоактивності

Рівень природної радіоактивності води може значно коливатися залежно від характеру водойм і ступеня їхньої мінералізації. Але, як правило, сумарна активність води не перевищує 1,85 Бк/л (5×10^{-11} Кі/л).

Що стосується забруднення штучними радіонуклідами, то це залежить від радіаційної ситуації, яка склалася в регіоні. За рахунок глобальних радіоактивних випадів сумарна радіоактивність води відкритих водойм не перевищує 0,1–0,3 Бк/л. Під час радіаційної аварії на Південному Уралі у 1957 р., коли у навколишнє середовище була викинута велика кількість ^{90}Sr переважно у вигляді гідрозолів, рівень активності води у водоймах в регіоні аварії досягав 10 Бк/л. А при вищезгаданих скидах радіоактивних відходів НВО «Маяк» у 1949–1952 рр. у р. Теча в тому ж регіоні рівень радіоактивного забруднення води досягав сотень бекерелів на літр.

Під час аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. переважна більшість радіонуклідів була викинута у формі важкорозчинних аерозолів, які, випавши на дзеркало водойм, у повному розумінні слова, каменем пішли на дно. Донині основна кількість радіоактив-

них речовин знаходиться у донних відкладах – у мулі. Тому протягом усього післяаварійного часу, за винятком деяких ситуацій у гострий період (декілька перших місяців), радіоактивне забруднення води не перевищувало допустимих рівнів. Зараз у водоймах за межами зони відчуження воно становить 0,02-0,2 Бк/л за допустимого рівня для питної води 2 Бк/л і 1 Бк/л для зрошуваної води як за ^{90}Sr , так і за ^{137}Cs .

Вміст радіонуклідів у ґрунтових і поверхневих водах також відповідає гігієнічним нормативам і не становлять небезпеки для населення. В 2008 р. вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs у воді р. Прип'ять, на якій розташована Чорнобильська АЕС, був нижчим за ДР-2006 більше ніж удесятеро, і навіть у ставку-охолоджувачу АЕС відповідав нормативу для питної води. Вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs у ґрунтовій воді водозаборів м. Прип'ять і м. Чорнобиль нижчий за ДР-2006 більше ніж у 100 разів. Дослідження і зроблені на їх основі наукові прогнози показали, що міграція радіонуклідів у ріки із захоронень радіоактивних відходів у зоні відчуження також не становить небезпеки і в майбутньому не справлятиме істотного впливу на радіоактивне забруднення води Дніпровського каскаду.

Відбір проб із водної поверхні, як правило, не є складним завданням. Стационарні спостереження передбачають відбір проб води для радіометричного і радіохімічного аналізу з глибини 0,2-0,5 м. Проби відбирають у чистий скляний чи пластмасовий посуд, що герметично закривається, або термос, попередньо ополоснувши його тричі цією водою. Звичайно відбір здійснюють емальованим відром об'ємом 10 л. Відбір виконують у різних частинах акваторії водойми. Проби води з річок відбирають у декількох пунктах з обох берегів та посередині річки на глибині 0,5 м, а якщо глибина річки перевищує 2-3 м, то проби беруть також на глибині 0,5 м від дна водойми. Як правило, у річках відбір проб проводять по лінії, перпендикулярній напрямку течії, починаючи від одного берега до другого, у трьох-п'яти місцях на різній глибині – з поверхні, у середині товщі води та поблизу дна. В озерах і ставках проби відбирають за перпендикулярними діагоналями аналогічно відбору в річках.

Проби води із заданої глибини відбирають за допомогою батометрів чи пробовідбірників води – спеціальних приладів різного об’єму, які забезпечують герметичне їх відкривання і закриття на певній глибині, запобігаючи надходженню води з інших шарів (рис. 5.1). Так, пробовідбірна система СП-2 призначена для відбору проб природних та стічних вод із метою визначення в них вмісту різних забруднюючих речовин, у тому числі й радіонуклідів. Вона дозволяє здійснювати відбір проб води з криниць, водоймищ природного і штучного походження, включаючи водойми, вкриті льодом. Прилад із встановленим бутлем опускається у водойму без посиленого вантажу. У міру опускання спливає зовнішній поплавок і перекриває отвори зовні корпусу, перешкоджаючи надходженню води в камеру корпусу, а отже і в бутель. При досягненні необхідної глибини (до 3 м), по тросу надсилається вантаж, який переміщує поплавок у нижнє положення, відкриваючи отвори в корпусі. Після заповнення водою бутля і камери в корпусі (приблизно через 30 секунд після відсилання вантажу) спливає клапан, що знаходиться всередині корпусу, і перекриває отвори в корпусі зсередини. Система з відібраною пробєю піднімається на поверхню.



Рис. 5.1. Прилади для відбору проб води:

- 1 – батометр Молчанова (висота приладу 65 см, об’єм 4 л);
- 2 – пробовідбірники ПЕ-1220 і 3 – СП-2

Як правило, проби пропускають через фільтри 0,45 або 1 мкм, щоб відділити зважену речовину. Якщо передбачається зберігання проб довше доби, то для зменшення втрат радіонуклідів від їх сорбції на стінках ємностей, проби консервують додаванням соляної, сірчаної або азотної кислоти до рН 1 (практично це одна крапля концентрованої кислоти на 1 л об'єму проби) і зберігають у пластикових ємкостях.

При низькому рівні вмісту окремих радіонуклідів великі об'єми води пропускають крізь специфічні сорбенти або концентрують шляхом випаровування протягом тривалого кип'ятіння.

За рекомендацією Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) рівні загальних концентрацій α - і β -випромінюючих радіонуклідів у питній воді не повинні перевищувати 0,1 і 1,0 Бк/л відповідно. Для визначення таких рівнів активності рекомендується як найпростішу операцію концентрування застосовувати упарювання проб об'ємом 1 л. Спочатку літрова проба води випаровується до мінімального об'єму, потім концентрат переноситься у спеціальні чашечки-кювети, де випаровується досуха. Вимірювання загальної α -активності проводиться, як правило, за допомогою сцинтиляційного лічильника. Для оцінки загального β -випромінювання звичайно застосовують газорозрядні лічильники.

Щоб визначити вміст багатьох радіонуклідів концентрування проб проводять шляхом співосадження або використовують сорбційне концентрування. Так, ^{90}Sr концентрують, співосаджуючи з карбонатами або оксалатами кальцію. Сорбенти на основі подвійних фероціанідів калію і перехідних металів ефективно поглинають ізотопи ^{134}Cs і ^{137}Cs . Для визначення ізотопів плутонію відбирають проби великого об'єму, до 200 л, співосаджуючи їх гідроксидом заліза або діоксидом марганцю. Для концентрування ізотопів торію використовують сорбенти на основі того ж діоксиду марганцю.

Питну воду відбирають з усіх водних джерел, при цьому слід мати на увазі, що при водозаборі з відкритого водоймища (не скаламучуючи осад) необхідно брати воду також і з-під крана. Об'єм проби повинен бути не меншим ніж 1 л. Перед заповненням ємності її слід обполоснути досліджуваною водою.

Радіоекологічний моніторинг водойм звичайно передбачає проведення відбору проб води 7 разів на рік:

- під час повені: на підйомі, максимумі і спаді (3 відбори);
- під час літньої межені: при найменшому рівні води і при проходженні дощового паводка (2 відбори);
- восени перед льодоставом (1 відбір);
- під час зимової межені (1 відбір).

Проби води поділяють на прості й змішані. Прості проби характеризують якість води у певному пункті відбору, відбираються у визначений час у необхідному об'ємі.

Змішані проби об'єднують кілька простих проб з метою характеристики якості води за певний період часу або певної ділянки досліджуваного об'єкта.

Залежно від мети досліджень вдаються до разового або регулярного відбору проб.

Разовий відбір проб застосовують, коли радіоактивність води змінюється в просторі (глибина, акваторія) водоймища і в часі несуттєво.

Регулярний відбір проб здійснюють, коли очікується, що радіоактивність води може змінюватися. Так, зокрема, було під час гострого періоду розвитку аварії на Чорнобильській АЕС. Втім, і пізніше, під час злив, повеней, радіоактивність води у водоймах забруднених радіонуклідами територій може змінюватись як убик підвищення, так і пониження. Саме тому радіоекологічний моніторинг водойм, особливо тих, що слугують джерелами питної і зрошувальної води, є важливим завданням відповідних служб.

З 1993 р. розпочато регулярне вимірювання витрат води річок та стоку фільтраційної води з проммайданчика Чорнобильської АЕС. На сьогоднішній день для рутинного моніторингу поверхневих вод у зоні відчуження задіяно 40 пунктів і створів (рис. 5.2), із яких протягом року проводяться вимірювання рівня і витрат води, відбирається до 650 проб води та виконується майже 1650 аналізів для визначення активності ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238, 239, 240}\text{Pu}$, ^{241}Am (у розчиненому стані і в наносах, Бк/л).

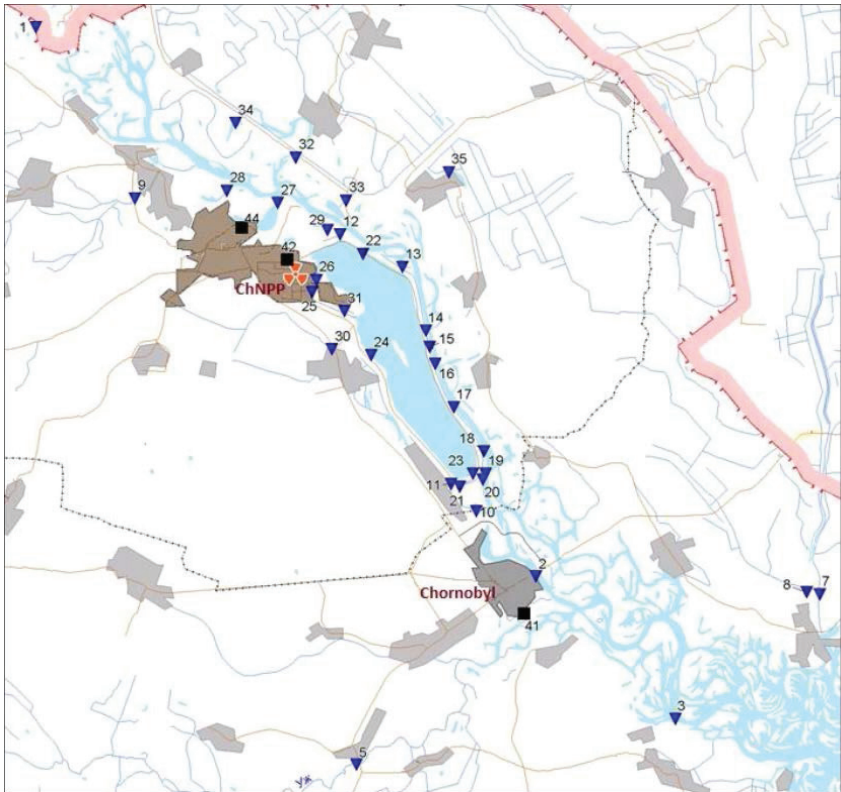


Рис. 5.2. Розташування пунктів спостереження за радіонуклідним забрудненням поверхневих вод зони відчуження Чорнобильської АЕС (Кіреєв С.І., 2016)

У зв'язку з тим, що основна маса радіонуклідів може знаходитись у донних відкладеннях, з котрих вони можуть переходити у воду, важливим завданням радіоекологічного моніторингу є відстеження динаміки їхнього вмісту в цьому компоненті водойм. Відбір проб донних відкладень здійснюється звичайними бурами для відбору проб ґрунту, описаними у попередньому розділі (рис. 4.1), або спеціальними пробовідбірниками у різних частинах акваторії, як і при відборі проб води: у річках по лінії, перпендикулярній напрямку

течії у трьох-п'яти точках від одного берега до другого, у озерах – по перпендикулярним діагоналям також від одного берега до другого у трьох-п'яти місцях по кожній діагоналі.

Спеціальні пробовідбірники донних відкладень дозволяють відбирати як загальну пробу з певної глибини, так і пошарові. Так, пробовідбірник донних відкладень Р 12.42 універсальний (рис. 5.3) дозволяє виконувати забір проб від твердих до рідких субстанцій з різним рівнем зволоженості з глибини до 5 м. Пробовідбірник складається з прозорого корпусу довжиною 1 м і діаметром 5 см, який дозволяє проводити первинний огляд і оцінку відібраного зразка; головки з ріжучим краєм для твердих відкладів, який забезпечує збереження структури проби, і головки з кулястим клапаном для рідких субстанцій; поршнем, який з одного боку забезпечує заповнення пробовідбірника на 100%, а з іншого – вибирання проби без порушення її пошарової структури.



Рис. 5.3. Пробовідбірник донних відкладень Р 12.42 універсальний

Відібрані проби донних відкладень упаковують аналогічно зразкам ґрунту або поміщають у спеціальну герметичну тару.

5.4. Захист водойм від надходження радіонуклідів

Основним прийомом захисту водойм є загорожа їх земляними валами і дамбами. Такі споруди, з одного боку, захищають водойми від змиву радіонуклідів із забруднених територій дощовими і талими водами, а з другого – від змиву радіонуклідів із забруднених берегів у період весняних паводків.

З метою зменшення перенесення радіонуклідів течіями річок улаштовують спеціальні ями-пастки забрудненого мулу, «донні сховища», а саме – поперечні канавоподібні заглиблення по дну річок між берегами, різні фільтруючі перемички, греблі, запруды.

Для очищення від радіонуклідів невеликих водойм типу ставків іноді використовують відносно дешеві сорбенти на основі природних мінералів, котрі дозволяють видобути з води, осадити і закріпити їх у донних відкладеннях із наступним механічним видаленням.

Аналогічно розглянутому вище прийому очищення ґрунтів від радіонуклідів за допомогою рослин – фітодезактивації, для очищення води також можна застосовувати рослини. Цей спосіб одержав назву різифільтрації (від грецького *rhiza* – корінь). В умовах водної культури рослини, як і всі гідробіонти, мають дуже великі K_d радіонуклідів. Так, якщо максимальні їх значення у коренях деяких видів вищих рослин на дерново-підзолистих ґрунтах легкого гранулометричного складу для ^{90}Sr і ^{137}Cs можуть досягти 10-20, то в умовах водойм вони досягають сотень і навіть тисяч. Саме тому окремі види як водяних, так і наземних рослин можуть бути використані для очищення від радіонуклідів невеликих водойм.

Але тут, як і у випадку з фітодезактивацією ґрунтів, виникає проблема утилізації чи ліквідації радіоактивної біомаси.

Інститутом мікробіології та вірусології НАН України запропонована мікробна біотехнологія очищення стічних вод від радіонуклідів та важких металів за допомогою штучних мікробних угруповань. На їхній основі створені спеціальні препарати «Мікробний

біокаталізатор» (МБК), «Змішані мікробні угруповання» (ЗМУ), які мають вигляд стійких у воді гранул, що складаються з живих мікроорганізмів і необхідних для них поживних речовин. Гранули зберігають свою структуру та функції протягом 2-3 років. Пропускаючи забруднену радіонуклідами воду через колонки з гранулами, можна досягти практично повного її очищення від ізотопів стронцію, цезію, америцію, плутонію, урану. Безперечно, масштаби застосування такої технології досить обмежені.

В цілому, як показав досвід ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, більшість водоохоронних контрзаходів економічно дуже дорогі, маючи при цьому досить обмежену радіаційно-гігієнічну ефективність.

5.5. Оцінювання та прогнозування радіоактивного забруднення води

Як і для більшості видів різної продукції і харчових продуктів, існують так звані допустимі рівні радіоактивного забруднення води питної і води для інших господарських потреб. Вода повинна відповідати певним санітарно-гігієнічним нормативам, тобто не перевищувати їх.

Стосовно природних радіонуклідів, можна з повною упевненістю стверджувати, що лише в окремих рідкісних випадках у місцях виходу на поверхню можна спостерігати перевищення допустимих рівнів у ґрунтових водах за вмістом ^{226}Ra , ^{232}Th та деяких інших.

Інакші обставини можуть складатися у випадках радіаційних аварій на підприємствах ядерного паливного циклу. І ситуація, яка виникла на території України після аварії на Чорнобильській АЕС, може слугувати яскравим прикладом.

Чорнобильська АЕС розташована у північній частині країни у зоні найбільшого водозабезпечення. Вона заболочена, насичена великою кількістю озер, малих і середніх річок. Станція побудована на березі однієї з найбільших приток Дніпра – річки Прип'ять. У цій зоні знаходиться і повноводна середня частина самого Дніпра, який забезпечує питною і зрошувальною водою майже 60% населення

країни. Тут же міститься одне з найбільших в Україні рукотворних водоймищ – Київське водосховище.

Цілком зрозуміло, що вже у перші дні після аварії було висунуте небезпідставне припущення про те, що питна вода і взагалі вода може стати основним джерелом формування дози внутрішнього опромінення населення. Саме тому перші, так звані, тимчасово допустимі рівні (ТДР) забруднення питної води, затверджені головним санітарним лікарем країни через 10 діб після початку аварії, були дуже високими для ^{131}I – 3700 Бк/л (табл. 5.1).

Таблиця 5.1

**Тимчасові допустимі рівні та допустимі рівні
вмісту радіонуклідів у питній воді після аварії
на Чорнобильській АЕС**

Радіоактивність на певну дату	Тимчасові допустимі рівні					Допустимі рівні	
	Дата	06.05.86	30.05.86	15.12.87	06.10.88	22.01.91	1997
Бк/л	3700	370	20	20	20	2	2

Припущення базувалося на досвіді вже згадуваної радіаційної аварії на Південному Уралі, яка сталася 29 вересня 1957 р. біля міста Киштим у Челябінській області на підприємстві «Маяк», котре займалося напрацюванням ^{239}Pu для атомної зброї. Тоді у р. Теча у вигляді гідрозолу (мікронних крапель рідини) попала величезна кількість радіоактивних відходів. Безперечно, у тій ситуації вода була дуже небезпечною.

При аварії на Чорнобильській АЕС основна маса радіоактивних речовин **в 30-км зоні** випала у формі аерозолу – твердих частинок ядерного палива, конструкційних матеріалів та інших мікронних розмірів різного походження, сформованих при високих температурах. Ці, дуже слабозрочинні утворення, котрі, впавши на дзеркало водойм, у повному розумінні слова, каменем пішли на дно. Стало зрозумілим, що вода не буде сильно забруднена в результаті їхнього попадання у водойми, вже і через 24 доби ТДР були зменшені на

порядок. Наприкінці 1986 р. до 98% радіоактивності, що надійшла у водойми, знаходилося у донних відкладах, 1% – у біоті (рибі, водоростях) і приблизно стільки ж – 1% – у воді. Саме тому вже в кінці 1987 р. ТДР були знижені до 20 Бк/л і такими залишалися до 1997 р. Того ж року були введені вже постійно діючі Допустимі рівні (ДР-1997), які були встановлені на рівні 2 Бк/л як для ^{90}Sr , так і ^{137}Cs . Цей рівень забруднення питної води підтверджено у 2006 р. (ДР-2006), і він залишився діючим до нинішнього часу.

Враховуючи багатократне внесення радіонуклідів у ґрунт при поливі та можливість їхньої акумуляції, допустимий рівень для зрошувальної води є ще більш жорсткішим – 1 Бк/л.

Слід відмітити, що показники як ТДР, так і ДР для води за весь післяаварійний час практично не перевищувалися, хоча й були досить вимогливими. Зараз рівень забруднення дніпровської води та інших водойм України, за винятком тих, що знаходяться на території зони відчуження, не перевищує 0,1-0,2 Бк/л.

Отже, для прикладу була розглянута залежність долі радіонуклідів у часі, тобто прогнозу їхнього стану в наступному, лише від одного показника – фізико-хімічної форми випадінь. Проте, прогнозування вмісту радіонуклідів у воді у випадках радіаційних і ядерних інцидентів має враховувати велику кількість чинників: хімічний і фізичний стан радіонуклідів, хімічні властивості води (рН, ступінь мінералізації, жорсткість), проточність, погодно-кліматичні особливості регіону та інші.

У 1987-1988 рр. проектом, розробленим Інститутом «Укрдніпроводгосп», введена в експлуатацію перша черга спеціальної мережі свердловин та розпочалися систематичні спостереження за підземними водами. В межах зони відчуження Чорнобильської АЕС система радіаційного контролю охоплює підземні води водоносних комплексів четвертинного, еоценового та сеноманніжнокрейдового водоносних комплексів, які належать до зони вільного водообміну. Регламент моніторингу підземних вод визначає мережу свердловин для спостережень і термін відбору з них води для контролю радіоактивного забруднення підземних водоносних горизонтів, які мають гідравлічний зв'язок з поверхневими водами в межах забруд-

неної території й поза нею, та підземних вод, що використовуються для водопостачання, а також терміни виконання замірів рівня води. Наразі мережа спостережень за підземними водами є найрозвинутішою у зоні відчуження і нараховує 138 пунктів спостереження. Значна кількість пунктів спостереження пов'язана зі складністю просторової організації об'єкта спостереження. В середньому щорічно у рамках рутинного радіоекологічного моніторингу відбирається близько 690 зразків підземних вод та виконується приблизно 1100 аналізів на вміст ^{137}Cs , ^{90}Sr , $^{238,239,240}\text{Pu}$, ^{241}Am .

Контрольні запитання до розділу 5:

- 1. Що розуміється під радіоактивним забрудненням водою?*
- 2. Суть радіоекологічного моніторингу водою.*
- 3. Шляхи надходження радіонуклідів до водою.*
- 4. Основні завдання радіоекологічного моніторингу водою.*
- 5. Основна методологія відбору проб води і донних відкладів для радіометричного аналізу.*
- 6. Скільки раз і у які строки радіоекологічний моніторинг водою передбачає проведення відбору проб води?*
- 7. Інструменти для відбору проб води та донних відкладень.*
- 8. Можливості захисту водою від надходження радіонуклідів.*

РОЗДІЛ 6. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ БІОТИ

6.1. Антропоцентрична та екоцентрична концепція щодо моніторингу біоти. 6.2. Шляхи формування дози опромінення у різних представників біоти. 6.2.1. Надходження радіоактивних речовин у рослини. 6.2.2. Особливості поведінки радіонуклідів у лісових біоценозах. 6.2.3. Надходження радіоактивних речовин до організму тварин і людини. 6.3. Організація спостережень за станом біоти на забруднених радіонуклідами територіях. 6.4. Вплив тварин на міграцію радіоактивних речовин у навколишньому середовищі.

Під радіоекологічним моніторингом біоти слід розуміти визначення доз опромінення та спостереження за станом різних її представників (рослин, тварин, мікроорганізмів, грибів, людей та їхніх угруповань) в умовах підвищеного радіаційного впливу з метою попередження негативної дії на них іонізуючої радіації.

6.1. Антропоцентрична та екоцентрична концепція щодо моніторингу біоти

Ще на початку 20-го століття була сформульована і майже до кінця століття в екології і в науках, пов'язаних і природоохоронними проблемами, панувала згадана вище «антропоцентрична концепція» захисту біоти. Відповідно до неї людина є головним живим об'єктом навколишнього природного середовища, який у першу чергу потребує захисту від несприятливих чинників, і заходи, які забезпечують такий захист, захищають усі живі організми.

До речі, антропоцентрична парадигма пронизує всю «Біблію»: людина – це заключний акт у семиденній п'єсі створення світу, вінець творіння всевишнього, «все суще створене для людини». Саме тому захищати у першу чергу слід людину.

Щодо радіоекології та її складових – радіоекологічного моніторингу і системи радіаційної безпеки, то протягом останніх десятиліть наукові основи протирадіаційного захисту живих організ-

мів базуються на постулаті, який у 1977 р. було сформульовано в Публікації 26 МКРЗ (Міжнародна комісія з радіаційного захисту) приблизно так: «Якщо радіаційними стандартами забезпечена охорона здоров'я людини, то у цих умовах захищена від впливу іонізуючої радіації й біота на популяційному та екосистемному рівнях».

Вже у другій половині минулого століття стало зрозумілим, що внаслідок незбалансованого природокористування, нерациональної експлуатації людиною природно-ресурсного потенціалу Землі виникає безліч ситуацій, коли певні об'єкти біоти, крім людини, вимагають особливого, навіть окремого моніторингу та захисту й охорони від дії багатьох несприятливих факторів саме антропогенного походження. Спостерігалися випадки змін у складі фітоценозів на територіях із підвищеним рівнем природного техногенного радіаційного фону – як правило, місцях видобутку уранових руд. У цілому в результаті збільшення масштабів видобутку урану в сотні й тисячі разів, масових випробувань атомної зброї, аварій на підприємствах ядерного паливного циклу, широкого застосування іонізуючих випромінювань у медицині і деяких інших сферах господарювання та, відповідно, захоронення радіоактивних відходів, ситуація кардинально змінилася і постало питання про безпеку опромінення іонізуючою радіацією всього людства і більше того – всього живого.

В наш час цей підхід не спрацьовує, наприклад, для зони відчуження Чорнобильської АЕС. Можна вважати, що декілька тисяч працюючого персоналу, які й тепер задіяні на самій АЕС та деяких спеціальних організаціях у межах зони, але не проживають у ній постійно, цілою низкою заходів захищені від дії іонізуючої радіації. Проте у деяких видів рослин, зокрема сосни, що зростають на забруднених радіонуклідами ділянках неподалік від АЕС, особливо в місцях біля сховищ радіоактивних відходів, відмічені певні порушення і зміни.

В ранній період аварії для багатьох видів біоти (перш за все наземної флори та фауни) на найзабрудненіших ділянках спостерігалося перевищення доз опромінення порівняно з контрольними величинами, проте в цьому випадку опромінення людини також було вищим, ніж допустимі для аварійних ситуацій межі.

Крім того, на відміну від більшості природних об'єктів людина може захистити себе від впливу зовнішніх факторів, у тому числі й від дії іонізуючої радіації, наприклад, шляхом скорочення часу перебування у зоні опромінення, екранування, зменшення у раціоні харчових продуктів, що містять радіонукліди. Внаслідок цього можна стверджувати, що використання аварійних норм радіаційного захисту людини не гарантує адекватного захисту об'єктів природного середовища, деякі види якого можуть зазнавати більший, ніж людина, вплив, навіть якщо такі заходи захисту населення, як евакуація не застосовувалися.

Відомі деякі види живих організмів, радіочутливість яких сумірна з радіочутливістю людини і, навіть, перевищує її. На такі організми дія антропоцентричної концепції практично не розповсюджується і в цілому зрозуміло, що система захисту, яка базується на ній, забезпечує охорону від впливу іонізуючого випромінювання тільки середовища існування людини.

Отже, виникла потреба у залученні нових методологічних основ до протирадіаційного захисту як людини, так і біоти, оскільки з позицій антропогенного підходу не здається можливим розробити наукові основи оцінки наслідків радіоактивного забруднення біосфери. Саме тому, у значній мірі стимульована екологічними наслідками аварії на Чорнобильській АЕС, наприкінці минулого століття і на початку нового, в радіоекології почала формуватися «екоцентрична концепція», в основу якої покладено необхідність окремого, спеціального захисту чи охорони будь-яких або всіх живих організмів, яка розглядає навколишнє середовище на одній моральній площині з людиною і вважає головною цінністю цілісні екосистеми.

І в Публікації 103 МКРЗ від 2007 р. на відміну від усіх попередніх акценти чітко зміщені у бік охорони не тільки людини, а в цілому живих організмів від дії іонізуючої радіації в середовищі їхнього існування. Розробка принципів охорони об'єктів навколишнього середовища від впливу іонізуючої радіації, питання оцінки ризику опромінення не тільки людини, але й інших живих організмів, стали головними напрямками сучасної системи протирадіацій-

ного захисту біоти. Для оцінки впливу іонізуючих випромінювань на біоту 5-м Комітетом МКРЗ були запропоновані такі референтні організми¹: щури, качки, жаби, лосось, бджоли, краби, олені, земляні черв'яки, сосни, дикоростучі трави і морські водорості.

6.2. Шляхи формування дози опромінення у різних представників біоти

Зовнішнє опромінення живих організмів відіграє суттєву роль лише у гострий період розвитку радіаційного чи ядерного інциденту – вибуху атомної бомби, аварії на підприємстві ядерної енергетики тощо. У подальшому формування дози здійснюється за рахунок внутрішнього опромінення, яке формується за рахунок надходження і накопичення в організмі радіонуклідів.

6.2.1. Надходження радіоактивних речовин у рослини

Радіоактивні речовини надходять до рослин двома основними шляхами: через наземні органи (некореневе, або аеральне, надходження) і через кореневу систему з ґрунту (кореневе надходження). Надходження через наземні органи можливе, головним чином, лише в період випадання радіоактивних частинок із атмосфери, тоді як поглинання через коріння може відбуватися протягом десятиків років.

При аварії на Чорнобильській АЕС основна маса радіонуклідів випала протягом перших 2-3 тижнів кінця квітня-початку травня і прямому позакореновому забрудненню були піддані в основному озимі види, природні та сіяні багаторічні трави, плодові культури. Для решти рослин основним джерелом радіонуклідного забруднення стало саме вторинне аеральне забруднення за рахунок підйому ґрунтових частинок із вітром та з бризками дощу. Внесок забруднення рослин через корені ще був незначним.

¹ Референтні організми – широко розповсюджені види, які мають відносно високу радіочутливість і можуть слугувати своєрідним стандартом реакції живих організмів на дію іонізуючих випромінювань.

Щодо здатності коренів рослин поглинати радіоактивні речовини, то вона визначається багатьма факторами водночас: специфікою виду, розвитком кореневої системи, фазою розвитку рослин, їхнім фізіологічним станом, вологістю ґрунту, наявністю у ньому елементів живлення. Зв'язування радіонуклідів ґрунтом та рослинами, фіксація біля поверхні ґрунту в зоні розміщення основної маси коріння затримує їхнє вимивання й перенесення в ґрунтові води.

Поглинання радіонуклідів коренями, їх рух по рослині і розподіл по окремих органах у значній мірі зумовлені їх хімічними властивостями. Ізотопи цезію і стронцію, які мають багато подібного, відповідно, до калію і кальцію, надходять до рослин із ґрунту великими кількостями. Радіонукліди ^{60}Co , ^{91}Y , $^{103,106}\text{Ru}$, $^{141,144}\text{Ce}$, ^{147}Pm , актиноїди нагромаджуються чисельністю на декілька порядків меншою. Великі значення K_n має сірка – досить важливий для живих організмів макроелемент, близькі до неї показники можуть досягати деякі мікроелементи (залізо, марганець, цинк), котрі також відіграють значну роль у метаболізмі. При цьому ^{137}Cs і ^{90}Sr легко і швидко пересуваються по рослині, в той час як більшість ізотопів нагромаджується переважно у коренях і далі практично не пересувається.

Розподіл радіонуклідів у наземних частинах рослин відбувається також по-різному. Приблизно половина їх кількості, що потрапила до рослини, нагромаджується у стеблі. Значно менше радіоактивності надходить до листя, ще менше – до квіток, суцвіть і лише кілька відсотків – до плодів, зокрема, зерна. Отже, можна виявити закономірну залежність – *чим далі по транспортному ланцюжку від коріння знаходиться орган, тим менше, як правило, радіонуклідів він нагромаджує*. У випадку із зерновими, зернобобовими, круп'яними культурами, основною продукцією котрих є зерно, ця залежність дуже відрадна. Але коли продуктивними органами є листя, а особливо – підземні частини рослин – коренеплоди, цибулини, бульби – доводиться мати справу з забрудненою продукцією.

6.2.2. Надходження радіонуклідів до організму тварин і людини

Надходження радіоактивних речовин в організм тварини відбувається через шлунково-кишковий тракт, органи дихання, а також крізь ушкоджені й неушкоджені шкіряні покриви. Інгаляційний шлях надходження, тобто через органи дихання, має вагомий внесок лише у період випадання радіоактивних опадів. Незначним є також проникнення радіоактивних речовин через шкіру – перкутантний шлях. Головним шляхом залучення їх у тваринний організм, як і організм людини, слід вважати пероральний – тобто з їжею та водою.

Доля радіоактивних речовин в організмі тварини не відрізняється від долі звичайних стабільних хімічних речовин, які входять до складу кормів. Надходячи до шлунково-кишкового тракту, кормові продукти піддаються механічній та біохімічній обробці, перетворюючись на сполуки, які можуть бути засвоєні організмом. У процесі метаболізму радіоактивних речовин в організмі тварини розрізняють два етапи.

Перший етап – це перетворення їх у зручні для засвоєння форми. Для цього у шлунково-кишковому тракті є всі сприятливі умови: здатність до механічного руйнування та подрібнення їжі в шлунку; велика кількість різноманітних ферментів, які здійснюють початкові стадії розщеплення білків, жирів та вуглеводів на простіші сполуки; зрештою, кисле середовище, що забезпечується за рахунок шлункового соку, яке сприяє переходу радіоактивних кормів у легкозасвоюваний розчинний стан.

Другий етап метаболізму – це всмоктування радіоактивних речовин у шлунково-кишковому тракті. Встановлено, що вони вбираються практично протягом усього процесу, хоча інтенсивність його на різних ділянках неоднакова: в шлунку, сліпій та дванадцятипалій кишках вона мінімальна; у товстій, порожній та клубових кишках – середня і в тонкому кишечнику – максимальна. Процес всмоктування залежить від багатьох умов, зокрема, характеру корму, його кількості, ступеня забруднення радіоактивними речо-

винами, їхньої розчинності. Але головними факторами, що визначають рухливість радіонуклідів в організмі тварини, в тому числі і всмоктування, є їхні фізико-хімічні характеристики, форми сполук, вид тварин, їхній вік, фізіологічний стан – ті ж самі, що визначають долю радіонуклідів у рослинах.

Для оцінки ступеня всмоктування радіонуклідів у шлунково-кишковому тракті використовують коефіцієнт всмоктування (K_{BC}), тобто відношення кількості радіонуклідів, що знаходяться у крові, до їх кількості, що надійшла з раціоном, і виражається в процентах. Для різних видів тварин значення K_{BC} можуть варіювати у дуже широких межах – від одного відсотку і, навіть, часток його для ізотопів деяких мікроелементів, практично до ста відсотків для ізотопів йоду, тритію, цезію.

І все ж таки, хоча швидкість всмоктування радіонуклідів різна, вже через 24 год. після їхнього надходження до шлунково-кишкового тракту в ньому залишається не більше, як 10-15% від їхньої первинної кількості.

Радіонукліди, що всмокталися у кров, розповсюджуються з її током по органах і тканинах тварини, де частково затримуються, вибірково концентруючись в окремих органах. Та більша їх частина одразу виводиться з організму.

Доля радіонуклідів, які беруть участь в обміні, неоднакова. Як правило, вони затримуються у тих тканинах і органах, до складу яких входять їхні стабільні ізотопи й елементи з аналогічними хімічними властивостями. Оскільки хімічний склад тканин сільськогосподарських тварин вивчений досить добре, можна передбачати, до яких саме частин організму потрапить той чи інший радіонуклід.

Існує *три основних типи розподілу радіонуклідів в організмі хребетних тварин: дифузний, скелетний та ретикулоендотеліальний.*

Дифузний, або рівномірний, тип характерний для ізотопів лужних елементів: калію, натрію, цезію, рубідію, а також водню, азоту, вуглецю, полонію.

Скелетний тип властивий, перш за все, радіонуклідам лужноземельної групи, головними представниками якої є ізотопи кальцію та стронцію. В мінеральній частині скелету накопичуються

також ізотопи барію, радіоактивні елементи радій, плутоній, уран та деякі інші.

Ретикулоендотеліальне розподілення – розподілення по системі клітин кісткового мозку, лімфатичних вузлів, мигдаликів, селезінки, печінки, надниркової залози, гіпофізу та деяких інших, властиве для рідкоземельних металів: церію, прометію, а також цинку, торію, частково трансуранових елементів.

Для деяких радіонуклідів властивий дуже високий ступінь нагромадження в окремих спеціалізованих органах і тканинах. Так, ізотопи йоду нагромаджуються у великих кількостях у щитоподібній залозі, що відбувається внаслідок специфіки обміну речовин цього органу. Іноді виділяють навіть спеціальний тип розподілу радіонуклідів – *тіреотропний* (від лат. *glandula thyreoides* – щитовидна залоза), нирковий.

Таблиця 6.1

Розподіл хімічних елементів, включаючи радіоактивні елементи і радіоактивні ізотопи, в організмі тварин (Ю.І. Москальов, 1989)

Тип розподілу	Елементи
Рівномірний	Елементи першої основної групи періодичної системи Д.І. Менделєєва: H, Li, Na, K, Rb, Cs, Fr, Au, Zn, Cl, Br, Fe, Co
Скелетний	Лужноземельні елементи: Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra, Zr, Ta, Sc, Sn, Y, U, Pu
Ретикуло-ендотеліальний	Ag, Cd, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Cu, Pu, Th, Mn
Нирковий	Bi, As, Sb, U, Se, Ge, Tl, Pt
Тіреотропний	I, Re, Te, Tc, At

Ступінь радіаційного впливу радіоактивних речовин на окремі органи і в цілому на тварину залежить від часу перебування їх в організмі. Деякі з них, що залучаються до процесів обміну швидкометаболізуючих тканин, можуть протягом короткого часу виводяться з організму разом із продуктами метаболізму. Так, ізотоп

водню тритій, який бере участь в обміні разом із водою, протягом кількох тижнів практично повністю виводиться з організму ссавців із сечею. В той же час ^{45}Ca , ^{90}Sr , ^{32}P та інші, що приймають участь у формуванні скелету, можуть, практично не зменшуючись кількісно, перебувати в організмі тварини протягом усього її життя.

Для характеристики строків перебування в організмі окремих радіонуклідів існує поняття періоду піввиведення радіоактивного ізотопу з організму. *Період піввиведення (T_6) – це час, протягом якого кількість нагромадженого в організмі (іноді в окремому органі) радіонукліду зменшується вдвічі внаслідок процесів біологічного виділення у перебігу природних процесів обміну.* В табл. 6.2 наведені усереднені дані тривалості періодів піввиведення з організму людини деяких радіоактивних ізотопів, які нагромаджуються в тілі й окремих органах. Вони в цілому відбивають загальні тенденції поведінки таких ізотопів у організмі сільськогосподарських тварин-ссавців, хоча, звичайно, абсолютні показники часу дещо відрізняються внаслідок біологічних особливостей видів.

Таблиця 6.2

Періоди піврозпаду та піввиведення деяких радіонуклідів з організму людини (В.Ф. Козлов, 1987)

Радіонуклід	Місце нагромадження	Період піврозпаду ($T_{1/2}$)	Період піввиведення (T_6)
1	2	3	4
^3H	Все тіло	12,33 роки	12 діб
^{14}C	Все тіло	5479 років	10 діб
	Кістки	5479 років	40 діб
^{24}Na	Все тіло	0,63 доби	11 діб
^{32}P	Все тіло	14,3 доби	267 діб
	Кістки	14,3 доби	3,16 роки
^{35}S	Все тіло	87,1 доби	90 діб
	Кістки	87,1 доби	1,64 роки
^{42}K	Все тіло	0,52 доби	58 діб
^{60}Co	Все тіло	5,21 роки	9,5 доби
^{90}Sr	Кістки	29 років	50 років

Закінчення таблиці 6.2

1	2	3	4
¹³¹ I	Все тіло	8 діб	138 діб
	Щитоподібна залоза	8 діб	138 діб
¹³⁷ Cs	Все тіло	30 років	70 діб
¹⁴⁰ Ba	Все тіло	12,8 доби	65 діб
²¹⁰ Po	Все тіло	138,4 доби	30 діб
²²⁶ Ra	Кістки	1 616 років	44,9 роки
²³⁵ U	Все тіло	712 000 000 років	100 діб
	Кістки	712 000 000 років	300 діб
²³⁹ Pu	Все тіло	24 383 роки	178 років
	Кістки	24 383 роки	200 років

Значно впливає на виведення радіонуклідів із організму та відкладення їх в окремих тканинах і органах продуктивних тварин швидкість їхнього руху у процесі метаболізму, яка врешті-решт призводить до переходу і накопиченню в молоці та м'ясі – продуктах, що є основним джерелом надходження радіонуклідів у організм людини. Так, у теперішній час через більш як три десятиліття після аварії на Чорнобильській АЕС частка молока, як джерела ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr, досягає 70% всієї їхньої кількості в раціоні людини, що мешкає на забруднених цими радіонуклідами територіях.

Ступінь переходу радіонуклідів у молоко та м'ясо характеризує коефіцієнт переходу (K_{Π}), який оцінюють аналогічно K_{BC} .

В табл. 6.3 наведені значення КП деяких радіонуклідів у молоко і м'ясо великої рогатої худоби. Максимальні величини виділення радіонуклідів із молоком характерні для ³²P, ¹⁴C, ³⁵S, ³H, ⁴⁰K, ⁴⁵Ca, ¹³¹I, ^{134,137}Cs. Це цілком природно, так як ізотопи перерахованих елементів та їхні хімічні аналоги приймають активну участь в обміні речовин, є основними компонентами молока. Значення K_{Π} радіонуклідів стронцію у 7-20 разів нижчі. Це пов'язано з тим, що переважаючим мінеральним компонентом молока є кальцій (більше 1 г на літр), який виступає у ролі конкурента та дискримінатора свого хімічного аналога стронцію.

Таблиця 6.3

Коефіцієнти переходу (K_{Π}) радіонуклідів з раціону великої рогатої худоби в молоко і м'ясо (м'язи), % добового надходження радіонуклідів (Є.М.Теверовський та ін., 1985)

Радіонуклід	Молоко	М'ясо	Радіонуклід	Молоко	М'ясо
^3H	1	–	^{90}Sr	$1,5 \times 10^{-1}$	4×10^{-2}
^{14}C	2	–	^{131}I	1	4×10^{-1}
^{32}P	3	–	^{137}Cs	1	8
^{35}S	2	–	^{144}Ce	1×10^{-4}	1×10^{-4}
^{40}K	1	–	^{238}U	5×10^{-2}	1×10^{-4}
^{45}Ca	1	1×10^{-1}	^{239}Pu	1×10^{-5}	1×10^{-4}
^{65}Zn	6×10^{-1}	–	^{241}Am	4×10^{-5}	–

Найвищі значення K_{Π} із наведених мають радіонукліди цезію (як і калію, значення для якого тут не приводяться) – хімічного аналогу калію, іони якого відіграють важливу роль у генерації та проведенні біоелектричного потенціалу у м'язах, регуляції їхнього скорочення. Разом із калієм у процеси обміну та нагромадження у м'язах втягується і цезій.

Радіонукліди-представники рідкоземельних та важких металів, а також трансуранові елементи, як правило, переходять із раціону в молоко та м'ясо у незначних кількостях.

Слід відзначити, що і для ссавців тривалість періоду піввиведення радіонукліду у значній мірі залежить чи навіть визначається, характером метаболізму. Так, для людини залежно від віку період піввиведення ^{90}Sr з кісток варіює від 25 у дітей до 70-75 років у стариків, а ^{137}Cs з м'язів – відповідно, від 30 до 90 діб. У табл. 6.2 наведені усереднені дані – 50 років і 70 діб.

У цій таблиці наведені також значення періодів піврозпаду радіонуклідів. На відміну від досить варіюючих значень періодів піввиведення, ця величина, яка визначається за допомогою даних про середній час існування радіоактивних ядер, становить сталу величину, яка не залежить від будь-яких факторів.

Але, визначаючи ступінь очищення організму від радіонуклідів, необхідно враховувати і цей показник, тому що зменшення кілько-

сті радіоактивних речовин, як і дії іонізуючих випромінювань, іде водночас і за рахунок їхнього виведення і розпаду. В такому разі говорять про ефективний період піввиведення радіонукліду ($T_{\text{ЕФ}}$), який визначається за формулою

$$T_{\text{ЕФ}} = T_{1/2} \times T_6 / T_{1/2} + T_6$$

де $T_{1/2}$ – період піврозпаду радіонукліду і T_6 – період його піввиведення.

Цілком природно, що шляхи надходження та міграції радіонуклідів в організмі людини принципово не відрізняються від таких у тварин-ссавців. Деякі ж їх особливості, як і специфічність дії випромінювань окремих радіонуклідів на людину вивчає радіаційна медицина.

6.3. Організація спостережень за станом біоти на забруднених радіонуклідами територіях

Моніторинг флори. Радіоекологічний моніторинг флори переслідує дві основні цілі:

- кількісна оцінка накопичення радіонуклідів різними видами рослин і тварин;
- вплив радіонуклідного забруднення території на їх стан і видовий склад.

Рослини при повній відсутності наявних ознак радіаційного ураження можуть нагромаджувати значні кількості радіонуклідів, внаслідок чого виявитися неможливим використання врожаю для харчування людини або годівлі тварин. У зв'язку з цим надзвичайно важливим стає вивчення закономірностей надходження, нагромадження та розподілу окремих радіонуклідів у продуктивних органах культурних рослин.

Було помічено, що ^{90}Sr поводить себе подібно до кальцію, а ^{137}Cs – до калію. Виявилось, що максимальна концентрація ^{90}Sr завжди спостерігається у тих видів рослин, які багаті на кальцій – у відомих кальцефілів рослин родини бобових, деяких представників родин розоцвітих, жовтцевих, а найбільша кількість ^{137}Cs – у рос-

линах багатих на калій – калієфілів, рослин родин капустяних, пасльонових та інших, зокрема у капусті, картоплі, буряках, кукурудзі, вівсу, льону, соняшнику та інших.

У цьому не можна вбачати нічого дивного, так як уже згадувалося, що стронцій перебуває у тій же самій другій головній підгрупі елементів періодичної системи Д.І. Менделєєва, що і кальцій, а цезій – у першій головній підгрупі поряд із калієм. Хімічні ж елементи були об'єднані в групи згідно з тотожністю деяких хімічних властивостей. Саме тому стронцій має властивості аналогічні кальцію, а цезій – калію, так, як і інші елементи, що належать до цих груп.

Багаторічне вивчення стану рослинності у відмічених умовах виявило стійку появу деяких біологічних ефектів тривалого – хронічного опромінення у декількох поколіннях однорічних видів рослин і багаторічників, у котрих протягом цього періоду можуть накопичуватися досить значні дози опромінення клітин первинних і вторинних утворювальних тканин, спочиваючих бруньок та попередників майбутніх генеративних органів. Порівняння радіобіологічних ефектів у різних видів рослин указує на суттєві відміни відповідей популяції на хронічне опромінення.

Розрізняють ценотичні і видопопуляційні відповіді рослинності на хронічне опромінення. У швидко наступаючих ценотичних ефектах, котрі проявляються у зміні видового складу ценозу та зміні домінантних форм, основну роль виконують явища радіаційного пригнічення радіочутливих видів, або відбувається зростання частот утворення хромосомних і точкових мутацій, або проявляється явище гормезиса. У більш уповільнених ценотичних ефектах можуть виявлятися наслідки індукованих опроміненням процесів генетико-популяційної природи.

Із ефектів, які виявляються при вивченні окремих видів рослин чи їх популяцій, слід виділити такі:

- при хронічному низькоінтенсивному опроміненні проявляється кумулятивність його дії – у деяких видів із часом радіочутливість насіння і вегетуючих рослин зростає;
- з часом у рослин, що ростуть в умовах радіонуклідної аномалії, підвищується генетична нестабільність, яка проявляється

у збільшенні частоти цитогенетичних і генетичних порушень і може зберігатися протягом декількох років після припинення дії підвищених порівняно з фоновим рівнів опромінення;

– хронічне низькофонове опромінення не супроводжується індукцією радіоадаптації, що, ймовірно, зумовлене поступовою втратою здатності клітин до репарації ДНК;

– в опроміненіх популяціях деяких видів рослин, зокрема хвойних дерев, з'являються радіоморфози двох типів: потворні форми окремих органів (листіків, стебел, квіток, суцвіть), поява яких зумовлена втратою здатності до поділу клітин, стохастично розподілених у меристемах; формування аномальних побудов органів (дуже великих чи, навпаки, дрібних у порівнянні з нормою), втім зберігаючих регулярність у тканинній і клітинній структурах, що є наслідком втрати клітинами здатності сприймати сигнали позиційної інформації;

– зміни позиційної інформації на рівні фізіологічних процесів, які проявляються порушеннями властивої нормі періодичності органічного спокою насіння, послабленням апікального домінування у вегетуючих рослин та іншими явищами, від котрих залежить стійкість рослин не тільки до опромінення іонізуючою радіацією, але й до стресових навантажень іншої природи.

Флористичні дослідження, проведені у зоні радіаційного впливу аварії на Чорнобильській АЕС на різних рівнях організації рослин – від клітинного до популяційного, підтвердили дані про надзвичайну радіочутливість рослин родин соснових, бобових, лілейних.

Реакція на радіоактивне забруднення представників інших родин та рослинних угруповань, зокрема видів, що є компонентами природних трав'яних ценозів, була не так помітна. При цитогенетичному аналізі насіння деяких представників дикої і культурної флори були одержані дані, що свідчать про зростання рівня мутацій, хоча далеко не завжди вдалося виявити зв'язок між кількістю мутацій і гамма-фоном у місцях зростання рослин. У різних видів рослин знаходили патології на всіх фазах мейозу, відхилення у мікроспорогенезі, різноспрямовані зміни

мутаційного вантажу в популяціях рослин, що зростають за різних режимів хронічного опромінення. Протягом багатьох років реєстрували вищий рівень усіяких відхилень у морфології вищих квіткових рослин, відмічені зміни у структурі трав'янистих фітоценозів.

Всі ці дані свідчать про пригнічуючу дію на рослини радіонуклідного забруднення ґрунту та навколишнього середовища в цілому. Це проявляється як на цитогенетичному рівні у формі зростання частоти хромосомних мутацій, так і на рівнях організму і популяцій окремих видів рослин. Досить переконливим показником негативної дії радіоактивного забруднення на рослини є зменшення насінневої продуктивності в популяціях окремих видів.

Однак, сукупність результатів різнобічного обстеження насіння великої кількості видів вищих квіткових рослин, що входять до лучних угруповань агроценозів у 30-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС, дозволяє вважати, що радіоактивне забруднення не призвело до помітних відхилень у рівні мінливості найважливіших популяційних показників. Разом з тим серед аборигенної рослинності є окремі види, чутливі до опромінення іонізуючою радіацією, такі як арабідопсіс (резуха, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heunh., подорожник ланцетолистий (*Plantago lanceolata* L.), фіалка ранкова (*Viola matutina* Klok.) та деякі інші.

Моніторинг фауни. В основі радіоекологічного моніторингу тварин, як і будь-якого моніторингу тварин, лежить оцінка кількісного складу тварин на тій чи іншій території. Вибір методу підрахування – це важливий етап проведення моніторингу. Застосування того чи іншого методичного прийому залежить від природних особливостей території, на котрій планується проведення облікових робіт, її розмірів, просторового розміщення тварин, біологічних особливостей видів та багатьох інших чинників, серед яких чи не найважливішу роль відіграє кваліфікація і досвід фахівців, які проводять ці роботи. Із існуючих на теперішній час основних методів наземного та авіаобліку більшість порівняно успішно використовується для проведення також і радіоекологічного моніторингу.

- З наземних методів обліку це такі:
- звичайний візуальний систематичний підрахунок кількості тварин із використанням біноклів, фото-кінозйомки;
 - маршрутний відносний облік по слідах, який поділяється на облік по слідах влітку і взимку;
 - облік тварин у місцях водопою, підкорму, на солонцях та в інших місцях їхнього скупчення;
 - облік тварин з автомашини;
 - анкетно-опитувальний метод обліку;
 - маршрутно-площадковий метод обліку.

З великим успіхом для обліку крупних тварин використовується авіаоблік із літаків, гвинтокрилів із застосуванням фото-кінозйомки.

Зокрема, комплексне застосування цих методів обліку на забруднених радіонуклідами територіях дозволило встановити суттєві кількісні зміни багатьох видів тварин у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Так, кількість диких кабанів, лисиць, косуль, зайців там зросла майже вдвічі; оленів, лосів, вовків – у 3-4 рази; кількість рисі, яка у тих місцях була представлена лише поодинокими тваринами, збільшилася до 100-150 осіб; з'явився бурий ведмідь. У 1998 р. у зону відчуження були завезені із заповідника Асканія-Нова 22 коней Пржевальського. За ці роки їхня кількість досягла майже ста екземплярів.

Безперечно, говорити про якусь благотворну дію іонізуючої радіації на тварин не можна. Збільшення їхнього поголів'я є наслідком евакуації населення, припинення будь-якої господарської діяльності. Іонізуюча радіація впливає на тварин лише негативно. На превеликий жаль, регулярного систематичного радіоекологічного моніторингу тварин на забруднених внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС територіях не проводиться. Проте спостереження за хребетними тваринами (гризуни, зайцеві, копитні, рептилії) на полігонах після випробувань ядерної зброї на початку 1960-х років, на ділянках із локальним радіонуклідним забрудненням свідчать про затримку їхнього розвитку і статевого дозрівання, скорочення тривалості життя і зменшення стійкості

до дії несприятливих факторів середовища, зменшення плодючості, зростання мінливості морфологічних структур. У звірків із районів з підвищеним лише у 5-7 разів, порівняно із звичайним, природним радіаційним фоном були виявлені частіші патології у функціонуванні кровотворної і статеві систем, значні варіювання чисельності популяції, висока загибель ембріонів, зміна структури популяції. Всі ці зміни й порушення свідчать про негативний вплив іонізуючої радіації у малих дозах на популяції тварин, які тут мешкають.

Багаторічними дослідженнями співробітників Інституту біології було показано, що радіоекологічний фактор (спільний вплив підвищеного фону природної радіації на один-два порядки порівняно з фоновими значеннями спільно з геохімічними, кліматичними та іншими природними та техногенними умовами) може негативно діяти на організм і популяції тварин навіть при дуже малих рівнях іонізуючої радіації. На прикладі популяції полівок-економок продемонстрований високий рівень морфологічної, гістоморфологічної, цитогенетичної мінливості деяких органів і систем під дією підвищеного рівня природної радіації у біогеоценозах. Зареєстровані зміни у білковому обміні полівок, у рівні сульфгідрильних груп у печінці тварин, активності ферментів енергетичного обміну, антиоксидантних ферментів, окремих ланок перекисного окислення ліпідів, виявлена висока чутливість клітин периферичної крові до хронічної дії малих доз у природному середовищі. Гістоморфологічне вивчення сімечників та яєчників полівок показало радіаційне ураження гонад в ембріональний період.

У цілому дослідження показали, що хронічна дія іонізуючого випромінювання у малих дозах викликає неспецифічні реакції, характерні для різних стадій загального адаптаційного синдрому і призводить до закономірного розвитку компенсаторних перебудов органів різних систем, що є реакціями пристосування організму до дії радіоекологічного чинника. Однак, це пристосування спрямоване лише на виживання популяції, а не її процвітання у подібних умовах.

Аварія на Чорнобильській АЕС посилила інтерес до досліджень біологічних наслідків хронічного опромінення у малих дозах. В результаті аварії виникли території, забруднені довгоживучими радіонуклідами – так звані штучні радіонуклідні аномалії. З їх появою створилися унікальні можливості для вивчення близьких і віддалених наслідків тривалого опромінення рослин і тварин. Було підтверджено, що радіобіологічні ефекти у підданих радіоактивному забрудненню природних екосистемах залежать від радіочутливості домінуючих у них видів. До найбільш радіочутливих видів рослин належать хвойні породи, тварин – ссавці, а екосистем – хвойні ліси.

Моніторинг населення. Як складову частину системи радіоекологічного моніторингу виділяють медико-гігієнічний радіоекологічний моніторинг. Його завданням є розробка практичних заходів у сфері охорони навколишнього середовища для запобігання впливу іонізуючого випромінювання на здоров'я населення. Складність цього завдання полягає в тому, що на людину, втім як і на будь-яку частку біоти, одночасно впливає цілий комплекс факторів. При цьому одні з них діють постійно, інші – періодично, а деякі – одноразово. І практично ніколи не впливають окремо, ізольовано один від одного. Якщо проаналізувати дію радіаційного фактору внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, чітко простежуються три компоненти: відносно гостре опромінення у великій дозі під час початкового періоду аварії (декілька перших місяців), поступове зменшення дози за рахунок розпаду короткоживучих радіонуклідів (до року) і встановлення практично постійного хронічного опромінення у великій дозі протягом усього життя за рахунок довгоживучих радіонуклідів.

Одним із основних заходів медико-гігієнічного радіоекологічного моніторингу є визначення вмісту радіонуклідів у організмі людини (рис. 6.3) і на основі цих даних – розрахунки доз внутрішнього опромінення, які складають до 90-95% загальної дози опромінення мешканців забруднених радіонуклідами територій.



**Рис. 6.3. Визначення вмісту ^{137}Cs в організмі людини
(з матеріалів ННЦРМ)**

Досвід радіаційної аварії на Південному Уралі, що сталася у 1957 р., виявився досить корисним щодо прогнозу наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. Сьогодні, коли після неї минув удвічі довший період, ніж після аварії на Чорнобильській АЕС, там на території колишнього радіоактивного сліду практично відсутні будь-які зовнішні прояви дії іонізуючої радіації на живі організми. Частота хромосомних аберацій у твірних клітинах вийшла на стаціонарний рівень. Природні екосистеми в основному набули свого перед-аварійного стану за винятком хвойних лісів, які сильно постраждали від опромінення. Окрім того, біохімічні мутації й зараз ще не досягли стаціонарного рівня. Екосистемам, ураженим внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, мабуть доведеться пройти ті ж етапи формування радіаційного синдрому, які були пройдені враженими екосистемами на Уралі. Для об'єктивного прогнозу можливих майбутніх змін у біоценозах необхідно продовжувати систематичний радіоекологічний моніторинг, залучаючи до досліджень

нові види рослин і тварин, удосконалюючи ценотичні підходи до вивчення антропогенного впливу на природу. Однак, результати досліджень наслідків тривалої радіаційної дії на стан здоров'я населення, що мешкає на забруднених територіях внаслідок аварії на Уралі, дають певні підстави для висновку про негативну дію радіоактивного забруднення.

Контрольні запитання до розділу 6:

- 1. Суть антропоцентричної та екоцентричної концепції щодо радіоекологічного моніторингу біоти.*
- 2. Що таке референтний організм?*
- 3. Шляхи формування дози опромінення у різних представників біоти.*
- 4. Надходження радіоактивних речовин у рослини.*
- 5. Особливості поведінки радіонуклідів у лісових біоценозах.*
- 6. Надходження радіоактивних речовин до організму тварини і людини.*
- 7. Організація спостережень за станом біоти на забруднених радіонуклідами територіях.*

РОЗДІЛ 7. РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ СФЕРИ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

7.1. Мета і завдання радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва. 7.2. Об'єкти радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва. 7.3. Структура системи радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва. 7.4. Складові радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва. 7.4.1. Оцінка потужності γ -випромінювання. 7.4.2. Визначення щільності радіонуклідного забруднення сільськогосподарських угідь. 7.4.3. Відбирання проб для радіометрії. 7.5. Оптимізація відбору і вимірювань проб при радіоекологічному моніторингу.

Таким чином, формування дози опромінення у населення, що мешкає на забруднених радіонуклідами територіях (переважно, на торф'яних ґрунтах), практично повністю відбувається за рахунок внутрішнього опромінення радіоактивними речовинами, що надходять в організм із харчовими продуктами, тобто продукцією рослинництва і тваринництва. Саме тому, як одну з найважливіших складових загального радіоекологічного моніторингу, спрямовану в першу чергу на протирадіаційний захист людини, слід розглядати радіоекологічний моніторинг агроєкосистем і в цілому агропромислового виробництва.

Радіоекологічний моніторинг агроєкосистем – це контроль сільськогосподарських угідь за щільністю радіоактивного забруднення ґрунтів, сільськогосподарської продукції, її похідних, у тому числі кормів та харчових продуктів, а також поверхневих вод сільськогосподарського призначення.

Радіоекологічний моніторинг агропромислового виробництва – це система безперервних відстежень (спостережень, вимірів), оцінки та прогнозу радіоактивного забруднення компонентів природи й біоти, що є об'єктами або продукцією сільськогосподарської діяльності людини, та реакції біотичної складової на дію іонізуючих випромінювань.

Необхідність такого моніторингу в Україні зумовлена розміщенням радіаційно небезпечних об'єктів, зокрема, атомних електро-

станцій, у районах інтенсивного ведення сільськогосподарського виробництва, а також радіоактивним забрудненням великих територій після аварії на Чорнобильській АЕС.

Тут слід відзначити, що постійний контроль за радіоактивним, хімічним та біологічним забрудненням навколишнього природного середовища, включаючи агроєкосистеми, ще у 1973 р. був покладений на агрохімічну службу колишнього СРСР. У складі обласних проектно-дослідницьких станцій хімізації були створені радіологічні лабораторії і дозиметричні пости цих станцій у районах. Для спостережень за радіаційним станом ґрунтів і продукції рослинництва були відведені постійні ділянки, на яких щомісяця проводили заміри гамма-фону.

В перші місяці після аварії на Чорнобильській АЕС радіологічні лабораторії були створені у ветеринарній службі України, на молокозаводах, м'ясокомбінатах, офіційних ринках, на підприємствах харчової промисловості та деяких інших.

Унаслідок радіоактивного забруднення природних ресурсів після аварії насамперед постало завдання з виконання комплексу робіт із оцінки і подальшого уточнення радіаційного стану на землях сільськогосподарського призначення, а також визначення вмісту основних дозоутворюючих радіонуклідів (^{137}Cs і ^{90}Sr) у продукції рослинництва, тваринництва, харчових продуктах і питній воді.

В умовах нормальної радіаційної обстановки вирішальне значення мають гігієнічні аспекти радіоекологічного моніторингу агропромислового комплексу, а саме – спостереження за рівнем радіоактивного забруднення основних ланок харчових ланцюжків, що визначають накопичення радіонуклідів у продукції рослинництва й тваринництва, у першу чергу тих, що використовуються у раціоні людини.

7.1. Мета і завдання радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва

Метою радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва є накопичення інформації, необхідної для прийняття рішень і із керування й регулювання радіоактивним забрудненням агро-

промислової продукції шляхом розробки й впровадження системи агротехнічних, агрохімічних, меліоративних, зоотехнічних, організаційних заходів, а також збереження продуктивності сільськогосподарського виробництва. З урахуванням конкретних завдань і цільового призначення розробляються програми моніторингу, що встановлюють вибір об'єктів спостереження, вид, частоту й періодичність вимірів, методи вимірів, відбору зразків та наступного лабораторного аналізу, прийоми статистичної обробки результатів, принципи збирання, накопичення й обробки інформації, інтерпретації даних.

Джерелом об'єктивної інформації про радіаційну обстановку в сфері агропромислового виробництва є прямі спостереження й вимірювання.

Основні завданнями радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва це:

- виявлення шляхів формування радіоактивного забруднення в аграрній сфері;
- виявлення динаміки і тенденцій радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь та продукції рослинництва і тваринництва;
- забезпечення директивних органів і населення об'єктивною інформацією щодо поточного стану агроєкосистем і рівнів їхнього забруднення радіонуклідами;
- встановлення закономірностей і верифікації моделей поведінки радіонуклідів у агроценозах;
- прогнозування можливих негативних наслідків радіоактивного забруднення через аварійні ситуації;
- розробка рекомендацій з ведення сільськогосподарського виробництва у випадку радіоактивного забруднення агроєкосистем і з метою зменшення вмісту радіонуклідів у продукції, харчових продуктах для населення і зниження дозових навантажень.

Це досягається шляхом систематичного спостереження й оцінки рівнів радіоактивного забруднення компонентів навколишнього природного середовища, що втягуються в сферу сільськогосподарської діяльності, головним чином з метою попередження можливих негативних наслідків для здоров'я людини; виявлення закономірностей просторово-часової міграції радіонуклідів у біологічних ланцюжках і складання

на цій основі прогнозу майбутніх рівнів радіоактивного забруднення об'єктів сільськогосподарського виробництва; оцінки й прогнозу дозових навантажень на сільськогосподарських тварин і рослин.

7.2. Об'єкти радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва

При радіоекологічному моніторингу агропромислового виробництва основними об'єктами відстеження є:

– в рослинництві – ґрунти орних і пасовищних угідь, сільськогосподарські рослини, продукція рослинництва, зрошувальна вода, добрива, агро меліоранти, меліоративні системи;

– в тваринництві – корми, кормові добавки, кормова сировина; сільськогосподарські тварини, у тому числі птиця і риба, раціон тварин, продукція тваринництва (молоко, м'ясо, яйця, шкіра, вовна, пух, перо та деякі інші), вода, що використовується для водопою худоби чи товарного розведення риби, гній, пташиний послід та інші відходи тваринництва, тваринницькі приміщення.

Основними контрольованими параметрами є такі: потужність експозиційної дози γ -випромінювання; вміст біологічно значимих радіонуклідів у ґрунті, добривах і агро меліорантах; вертикальний розподіл радіонуклідів у профілі ґрунтів; уміст радіонуклідів у рослинах, кормах і раціоні тварин, воді водойм, використовуваний для поливу посівів і водопою худоби, а також для риборозведення; вміст радіонуклідів у продукції рослинництва і тваринництва. Разом з цим здійснюється прижиттєвий контроль вмісту радіонуклідів в організмі тварин. На основі цих контрольованих параметрів розраховується щільність забруднення ґрунтів сільськогосподарських угідь, коефіцієнти накопичення (переходу) радіонуклідів із ґрунту в сільськогосподарські культури, корми та продукцію рослинництва і тваринництва.

Найоб'єктивнішим джерелом інформації про радіаційну обстановку в агропромисловій сфері є прямі вимірювання потужності дози β - і γ - випромінювання у повітря біля поверхні ґрунту та на висоті 1 м і вмісту природних та штучних радіонуклідів у природних об'єктах та агропромисловій продукції.

Для визначення рівня радіоактивного забруднення ґрунту, рослинності й продуктів тваринництва здійснюють відбір зразків і наступний аналіз їх у лабораторних умовах. Основні вимоги до зразків – наглядність, адекватність, стабільність, відсутність будь-яких змін. Кількісним показником рівня радіоактивного забруднення об'єктів природного середовища є питома активність (концентрація) або об'ємна активність нукліда в зразку.

Для оцінки радіоактивного забруднення території використовують поняття щільності радіоактивного забруднення, тобто поверхневої активності нукліда на певній площі.

Вміст радіонуклідів у об'єктах і продукції агропромислового виробництва визначають за допомогою різних методів аналізу. Повний радіонуклідний аналіз об'єктів природного середовища може бути здійснено лише при спільному використанні методів альфа-, бета- і гамма-спектрометрії та радіохімії.

Звичайно розглядають два типи радіаційної обстановки, що вимагають здійснення різних видів моніторингу – поточного й оперативного. Поточний моніторинг проводять в умовах, при яких надходження радіонуклідів носить постійний, рівномірний характер і істотної біологічної дії це забруднення не спричинює. Відзначаються коливання у розмірі надходження радіонуклідів у часі (наприклад, сезонні) та просторі (на локальному, регіональному або глобальному рівнях), але в цілому вони не виходять за рамки допустимого. Спостереження проводяться на стаціонарних площадках, як на орних, так і на природних перелогових землях (луках, пасовищах) із обліком наявних на території України природно-кліматичних зон, типів ведення агропромислового виробництва, розміщення джерел радіоактивного забруднення.

Програму оперативного моніторингу розробляють для ситуацій, пов'язаних із одноразовим або розтягнутим на декілька діб надходженням до природного середовища радіоактивних речовин у кількостях, які можуть загрожувати здоров'ю та життю людини, вплинути на фізіологічний стан та продуктивність сільськогосподарських тварин і рослин (великі радіаційні аварії).

Постійний контроль навколишнього середовища, включаючи й агроєкосистеми, був організований для спостереження за глобальними випадіннями ще у 1973 р. і покладений на агрохімічну службу СРСР. У складі обласних проектно-пошукових станцій хімізації були організовані районні радіологічні лабораторії та дозиметричні пости. Для спостереження за радіаційним станом ґрунтів і продукції рослинництва були відведені постійні ділянки цілини, де щомісячно проводилися заміри гамма-фону та оцінювалася щільність забруднення радіонуклідами. На рис. 7.1 для прикладу наведені результати вимірів щільності забруднення ґрунту радіонуклідами ^{90}Sr і ^{137}Cs на експериментальних майданчиках у Чернігівській області, виконані Чернігівським центром «Облдержродючість» у рамках програми радіологічного моніторингу як до аварії на Чорнобильській АЕС, так і після неї. Особливих пояснень вони не потребують. У нинішній час через реалії, що склалися, радіологічний моніторинг агроєкосистем на території України ведеться в обмежених масштабах і переважно у регіонах, які постраждали в результаті аварії.

Залежно від термінів і періодичності виділяють наступні види спостережень за рівнями радіонуклідного забруднення агроєкосистем:

- вихідні – такі, що фіксують рівні забруднення і стану агроєкосистем на момент початку проведення моніторингу;
- планові (періодичні або сезонні) – проводяться у відповідно до регламенту моніторингу;
- позапланові (оперативні) – проводяться на випадок виникнення аварійних ситуацій на радіаційно небезпечному об'єкті;
- суцільні обстеження – проводяться з метою визначення зони ураження.

Визначення вмісту радіонуклідів у ґрунтах здійснюється не менше, ніж два рази на рік – весною – на початку проведення сільськогосподарських робіт і восени – в період збору врожаю, а в рослинах – у період збору врожаю. Плановий контроль забруднення продукції тваринництва проводиться також не менше двох разів на рік, в зимовий стійловий і в пасовищний періоди.

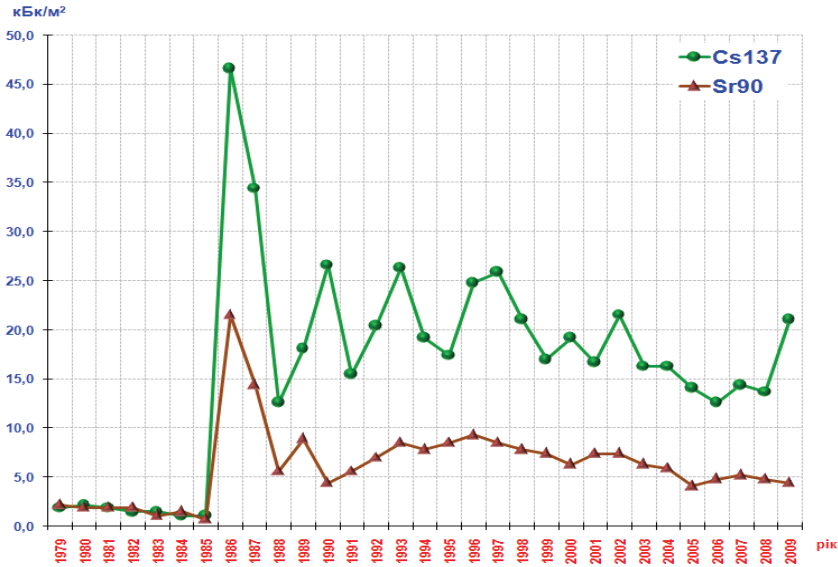


Рис. 7.1. Динаміка середніх показників щільності забруднення радіонуклідами ґрунтів контрольних майданчиків у Чернігівській області, виміряна Чернігівським центром «Облдержродючість» у рамках програм радіоекологічного моніторингу (А.І. Мельник, 2010)

Вміст радіонуклідів у ґрунті є головним джерелом, що обумовлює забруднення ними сільськогосподарської продукції, визначає зовнішні та внутрішні дозові навантаження на людину. Визначення радіоактивного забруднення сільськогосподарських угідь (щільності забруднення чи масової питомої активності ґрунту) виконується згідно з галузевими стандартами Мінагрополітики і продовольства (СОУ 74.14-37-425:2006 та СОУ 74.14-37-424:2006).

Для оцінки просторової неоднорідності забруднення угідь на першому етапі проводять рекогносцирувальне обстеження ґрунтового покриву в межах одного поля, для чого на ділянці виконують вимірювання потужності дози γ -випромінювання в

повітрі (потужності експозиційної, поглинутої або еквівалентної дози).

Розташування майданчиків для відбору проб має відповідати таким вимогам:

- вибране місце максимально горизонтальне, рівне, з однорідним рослинним покривом без наявних порушень цілісності поверхні;

- найближчі будівлі та дерева розташовані на відстані не ближчій, ніж дві їхні висоти від пробного майданчика;

- пробний майданчик розташований не ближче, ніж 20 м від доріг і місць акумулювання або змиву радіоактивного забруднення на поверхні ґрунту.

Відстань між місцями відбору точкових проб ґрунту на пробному майданчику або між пробними майданчиками має бути не меншою, ніж 1 м.

Для центру пробного майданчику визначають географічні координати, які заносять у паспорт проби і журнал обстеження.

Вміст радіонуклідів у сільськогосподарській продукції, що вирощується на забруднених територіях, є головною ланкою на шляху формування додаткових дозових навантажень на людину.

Відбір проб рослин при радіоекологічному моніторингу також виконується згідно з галузевим стандартом Мінагрополітики (СОУ 01.1-37-426:2006). У нормальних (не аварійних) умовах проби сільськогосподарських культур відбираються один раз на рік у період збирання врожаю. Відбір проб проводиться разом із відбором проб ґрунту. Найкритичнішою з точки зору можливого надходження радіонуклідів у організм людини як в аварійних ситуаціях, так і в ситуації існуючого опромінення після Чорнобильської катастрофи, є продукція тваринництва, в першу чергу молока. Тому радіологічному контролю і моніторингу цієї продукції має приділятися підвищена увага, особливо прижиттєвому контролю вмісту ^{137}Cs у м'язовій тканині (СОУ 01.2-37-428:2006). Відбір проб раціону годівлі сільськогосподарських тварин здійснюється відповідно до галузевого стандарту для продукції тваринництва (СОУ 01.2-37-427:2006).

7.3. Структура системи радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва

Структура системи радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва будується за ієрархічним принципом: первинна мережа (пункти спостереження), центр збору й обробки інформації, регіональний центр і головний центр даних.

Як проміжна ланка, що здійснює накопичення й обробку інформації, можуть виступати науково-дослідницькі установи, відповідальні за певний напрямок досліджень. Початковою ланкою моніторингу є мережа пунктів спостереження, де здійснюються виміри потужності γ -випромінювання на місцевості, виконується відбір, підготовка й наступний лабораторний аналіз зразків, проводиться первинна обробка інформації. Основними завданнями на цьому етапі є:

- забезпечення правильності вибору місця й часу проведення відбору зразків;
- відбір репрезентативної проби;
- дотримання правильного режиму підготовки зразків до аналізу;
- забезпечення достовірності результатів виміру.

У рамках системи моніторингу спостереження й виміри повинні проводитися на основі єдиних методів збору, зберігання та видачі даних польових і лабораторних досліджень. Роботи подібного типу проводяться на базі регіональних центрів. Інтерпретація кінцевих результатів і підготовка інформації для вироблення й прийняття рішень із контролю радіоактивного забруднення здійснюються головним центром даних.

7.4. Складові радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва

Радіоекологічний моніторинг агропромислового виробництва повинен включати:

- періодичні (систематичні) виміри потужності дози γ -випромінювання (радіаційного фону) на місцевості;

– періодичний (систематичний) відбір зразків у спеціально обраних місцях спостереження й контрольних пунктах, визначення концентрації радіонуклідів у цих зразках, радіонуклідного складу забруднення й фізико-хімічних форм радіонуклідів;

– розрахунок дозових навантажень на біоту на підставі первинних даних моніторингу;

– оцінку поточного стану радіаційної обстановки;

– підготовку інформації, необхідної для здійснення контролю радіаційної обстановки;

– прогноз можливих змін радіаційної обстановки;

Радіоекологічну ситуацію, що існує чи склалася в агропромисловому виробництві внаслідок радіаційного чи ядерного інциденту характеризують за допомогою таких основних показників:

– потужність дози γ -випромінювання;

– щільність радіонуклідного забруднення сільськогосподарських і лісових угідь;

– вміст окремих радіонуклідів у сільськогосподарській продукції.

Оцінка радіаційної обстановки здійснюється шляхом порівняння результатів вимірів і розрахунків із системою спеціально вироблених критеріїв, які визначають допустимий рівень радіаційного впливу на біоту. При радіаційно-гігієнічному підході до оцінки забруднення сільськогосподарських угідь і продукції АПК основою для вироблення таких критеріїв є нормативи вмісту радіонуклідів у харчових продуктах і воді, зумовлені «Нормами радіаційної безпеки України (НРБУ-97)» та тимчасовими допустимими рівнями вмісту критичних радіонуклідів у харчових продуктах, що можуть вводитися на певний період після радіаційного чи ядерного інциденту. На підставі цих нормативів можуть бути розраховані допустимі рівні (ДР) радіонуклідів у агропромисловій продукції, межі допустимого вмісту радіонуклідів у раціоні тварин або ДР найнебезпечніших у біологічному відношенні радіонуклідів у ґрунті (щільність його радіоактивного забруднення). Для рішення цих завдань необхідні не тільки систематичні спостереження за вмістом радіонуклідів у контрольованих об'єктах, але й дослідження впливу природних (фізико-хімічних, біогеохімічних, мікробіоло-

гічних) і техногенних (агротехнічних, агрохімічних, зоотехнічних) факторів на міграцію радіонуклідів по біологічних ланцюжках.

Прогноз можливої зміни радіаційної обстановки здійснюється на підставі первинних даних радіоекологічного моніторингу, виявлених тенденцій і закономірностей міграції радіонуклідів, а також результатів лабораторних і польових досліджень. Необхідною умовою прогнозування є розробка концептуальних або математичних моделей розглянутих процесів, оснащення моделей емпіричними параметрами й перевірка їх на адекватність.

7.4.1. Оцінка потужності γ -випромінювання

Найоперативнішим способом визначення масштабів і ступеня радіоактивного забруднення сільськогосподарських і лісових угідь є гамма-зйомка території – оцінка рівня потужності гамма-фону в різних її місцях. Для оцінки потужності дози використовуються дозиметри-радіометри різних систем – від найпростіших типу МКС-05 «Терра» до професійних, таких, що давно зарекомендували себе, – КАДМІЙ та інших. Гамма-зйомка дає можливість за досить короткий час визначити межі радіоактивного забруднення місцевості, виділити особливо забруднені території.

Методика проведення гамма-зйомки наведена у розділі 3.

7.4.2. Визначення щільності радіонуклідного забруднення сільськогосподарських угідь

Наступним етапом обстеження угідь є визначення щільності радіонуклідного забруднення ґрунту певними радіонуклідами, тобто радіоактивності по відношенню до одиниці площі сільськогосподарських угідь (кБк/м² та їх похідних). Знання видів радіонуклідів, щільності забруднення, типу ґрунту дають можливість оперативно прогнозувати ситуацію щодо можливості радіонуклідного забруднення продукції рослинництва. Для оцінки щільності забруднення сільськогосподарських угідь певним радіонуклідом треба визначити його вміст в одиниці маси ґрунту – питому актив-

ність. Значення щільності радіонуклідного забруднення розраховується на основі знань питомої маси ґрунту, яка для різних типів коливається в основному в межах 1,0-1,8 г/см³. Товщина ґрунту при цьому приймається рівною товщині орного шару, тобто 20 см, і 10 см – для цілих територій на пасовищах і сінокосах.

7.4.3. Відбирання проб для радіометрії

Одне з основних завдань радіологічних підрозділів – здійснення контролю за радіоактивним забрудненням об'єктів навколишнього середовища на території країни. Головною формою такого контролю є визначення концентрації радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, що мають пряме відношення до життєдіяльності людини: в повітрі, воді, ґрунті, харчових продуктах.

На підставі радіометричних, спектрометричних і радіохімічних досліджень приймаються рішення про можливість їх практичного використання.

Для отримання зіставних результатів усі операції радіометричної експертизи, починаючи з відбору проб і закінчуючи статистичною обробкою результатів досліджень, виконуються відповідно до єдиних для всіх радіологічних служб методичних вказівок.

Визначення сумарної β-активності проводять для оперативного контролю за забрудненістю досліджуваних об'єктів.

За допомогою радіохімічних і гамма-, бета-, альфа- та мас-спектрометричних методів досліджень визначають вміст ³H, ¹⁴C, ⁸⁹Sr і ⁹⁰Sr, ⁹⁰Y, ⁹⁵Zr, ¹⁰³Ru і ¹⁰⁶Ru, ¹³¹I, ¹³⁴Cs і ¹³⁷Cs, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ce і ¹⁴⁴Ce, ²¹⁰Pb, ²¹⁰Po, ²³²Th, ²³⁸U, ²³⁸⁻²⁴¹Pu та деяких інших радіонуклідів.

Визначення ²¹⁰Po та ²³⁸⁻²⁴¹Pu здійснюється в районах зі збільшеним вмістом цих ізотопів у кормах; ⁹⁰Y, ⁹⁵Zr, ¹⁰³Ru і ¹⁰⁶Ru, ¹³¹I, ¹⁴⁰Ba, ¹⁴¹Ce і ¹⁴⁴Ce – у випадках «свіжих» опадів радіоактивних речовин при забрудненні сільськогосподарських угідь продуктами ядерного поділу в результаті аварій на підприємствах атомно-енергетичного циклу; вміст ³H оцінюють у продуктах і сировині тваринного походження, зернофуражі, котрі ввозять із закордону; ¹³⁴Cs і ¹³⁷Cs, ⁸⁹Sr і ⁹⁰Sr, ²¹⁰Pb, ²³²Th, ²³⁸U визначають у ґрунтах, грубих, соковитих, кон-

центрованих кормах, коренеплодах, продуктах тваринництва; ^{103}Ru і ^{106}Ru , ^{210}Po , ^{239}Pu оцінюють у снізі, траві, силосі, кістках та м'язях; ^{90}Y , ^{141}Ce і ^{144}Ce – в снізі, траві; ^{95}Zr , ^{131}I , ^{140}Ba – в траві та молоці. У воді, як правило, оцінюють лише сумарну β -активність.

У табл. 7.1 наведені оптимальні терміни і норми відбору проб, що дозволяють отримати якнайповнішу інформацію про ступінь їхнього радіоактивного забруднення.

Таблиця 7.1

Оптимальні терміни і норми відбору проб різних об'єктів для оцінки радіоактивності і змісту радіонуклідів

Найменування об'єкту	Терміни відбору проб	Маса проб	
		для визначення сумарної β -активності	для радіохімічного аналізу
1	2	3	4
Ґрунт	Весна, літо, осінь	150-300 г	1,5-2 кг
Трава	Весна, літо, осінь (1-2 рази на місяць)	150-300 г	4-5 кг
Зерно	Літо	100-200 г	2-3 кг
Грубі корми	Осінь	100-200 г	2-3 кг
Силос, сінаж	В період згодовування тваринам	100-200 г	4-5 кг
Овочі	За мірою надходження	100-200 г	3-6 кг
Коренебульбо-плоди	Осінь	150-300 г	3-6 кг
Концентровані корми	»	100-200 г	2-3 кг
Молоко	Не рідше 1 разу на місяць	50-100 мл 800-1000 мл	5-6 л
М'ясо	Весна, літо, осінь, зима	100-200 г	2-3 кг
Кістки	Те ж	100-200 г	0,5 кг
Риба свіжа	За мірою надходження	100-200 г	3 кг
Вода	Весна, літо, осінь	0,5 л 800-1000 мл	20 л

Закінчення таблиці 7.1

1	2	3	4
Птиця	За мірою надходження	100-200 г	1 тушка
Яйце	Те ж	3-6 шт.	10 шт.
Мед	»	150-300 г	0,5-1,0 кг
Вовна	»	20-40 г	0,2-0,5 кг
Лісова підстилка	Осінь	100-200 г	2-3 кг
Кора	При рубці ліса	100-200 г	2-3 кг
Ягоди, фрукти	За мірою надходження	100-200 г	3-6 кг
Гриби свіжі	Те ж	100-200 г	4-5 кг
Гриби сушені	»	50-100 г	2-3 кг

Відбір проб ґрунту. Проби ґрунту відбираються методом «конверта», тобто в п'яти точках (кути і центр квадрата зі стороною 100 м) вибирається шар розміром 15 × 15 см на глибину 5 см. Контрольні точки відбору проб повинні бути віддалені від доріг не менше, ніж на 200 м. Остаточна проба (1 кг) складається з п'яти добре перемішаних зразків із заздалегідь видаленою рослинністю. Детальніше методологія відбору проб ґрунту викладена у розділі 4.

Відбір проб рослин. Проби рослин відбираються на тих же ділянках, що і проби ґрунтів. Для отримання об'єднаної (середньої) проби рослин природної вологості рекомендується відбирати не менше 8-10 точкових проб. Наземну частину трав'яного покриву зрізують гострим ножом або ножицями (не засмічуючи ґрунтом), укладають у поліетиленовий пакет або крафт-папір, укладають етикетку.

Із посівів сільськогосподарських культур слід брати проби по діагоналі поля або ламаної кривої, зі скірт – на висоті 1-1,5 м від землі і з глибини не меншою 0,5 м, із буртів – з глибини 0,3-0,5 м.

Об'єднану пробу складають із 8-10 точкових проб, узятих із наземної частини рослин або роздільно, – стебел і листя, плодів, зерен, корене-, бульбоплодів. Загальна маса точкових проб повинна бути не меншою, ніж 2 кг повністю використаних для формування середньої проби.

Відбір проб зерна. Точкові проби зерна з автомобілів відбирають механічним пробовідбірником або щупом. Із автомобілів з довжиною кузова до 3,5 м їх відбирають у чотирьох точках, 3,5-4,5 м – у шести точках, від 4,5 м і більше – у восьми точках на відстані 0,5-1 м від переднього і заднього бортів і приблизно 0,5 м від бічних бортів.

Механічним пробовідбірником точкові проби відбирають по всій глибині насипу зерна, ручним щупом – із верхнього і нижнього шарів, торкаючись щупом дна. В автопоїздах проби відбирають із кожного кузова (причепа).

Загальна маса точкових проб зерна також повинна бути не менше 2 кг. Якщо загальна маса буде меншою за вказану, відбирають додаткові точкові проби в тих же точках у середньому шарі насипу.

При завантажуванні (вивантажуванні) зерна у вагони, судна, склади й елеватори проби відбирають із потоку перемішаного зерна через рівні проміжки часу протягом усього періоду переміщення партії. Періодичність відбору точкових проб установлюють залежно від швидкості переміщення, маси партії, а також засміченості. Маса однієї точкової проби повинна бути не меншою 100 г.

Точкові проби зерна з мішків відбирають із кожного другого мішка, якщо мішків у партії до 10 шт. включно; з 5 мішків плюс 5% від кількості мішків в партії, якщо їх більше 10 і до 100 шт. включно. Якщо кількість мішків у партії понад 100 – проби відбирають із 10 мішків плюс 2,5% від кількості мішків у партії.

З мішків точкові проби відбирають щупом у трьох доступних точках. Щуп вводять у напрямку до середньої частини мішка жолобком униз, потім повертають його на 180° і виймають. Отвір, що утворився, закривають хрестоподібними рухами вістря щупа, зрушуючи нитки мішка.

Загальна маса точкових проб – не менше, ніж 2 кг

Об'єднану пробу отримують як сукупність точкових проб, які зсипаються в чисту міцну тару, що виключає зміну якості зерна. При використанні механічного пробовідбірника для відбору проб

зерна точкові проби змішуються в процесі відбору проб і утворюється об'єднана проба.

Відбір проб корене- і бульбоплодів. Проби відбирають від однорідної партії. Однорідна партія корене- або бульбоплодів – це будь-яка кількість одного сортотипа, заготовленого з одного поля, що зберігається в однакових умовах.

Точкові проби відбирають по діагоналі бічної поверхні бурту, насипу, куп або середньої лінії кузова автомобіля, причепа, вагону, баржі через рівні відстані на глибині 20-30 см. Точкові проби масою по 1,0-1,5 кг сполучають і складають об'єднану пробу.

Середню пробу для аналізу виділяють з об'єднаної, маса її повинна бути 1,0-1,5 кг. Для цього об'єднану пробу сортують за величиною бульбо- або коренеплодів на три групи: великі, середні і дрібні. Від кожної групи відбирають по 20% і об'єднують.

Відбір проб трави і зеленої маси сільськогосподарських культур. Відбирання проб сіяних трав і трав із природних угідь (1-2 кг) проводять двічі на місяць у перший рік радіоактивного забруднення та один раз на місяць у наступні роки.

Проби трави з пасовищ або сінокісних угідь відбирають безпосередньо перед випасом тварин або скошуванням на корм, для чого на вибраній ділянці виділяють 8-10 облікових майданчиків площею 1-2 м², розташовуючи їх по діагоналі. Травостій скошують (зрізують) на висоті 3-5 см.

Від зеленої маси, доставленої на ферми для безпосередньої годівлі тварин або для приготування силосу, сінажу, точкові проби беруть вручну не менше, ніж із 10 різних місць порціями по 400-500 г. Отриману з усіх облікових майданчиків або точкових проб зелену масу ретельно перемішують і розподіляють рівним шаром, отримуючи таким чином об'єднану пробу.

З об'єднаної проби зеленої маси відбирають середню пробу для аналізу, маса якої повинна бути 1,5-2,0 кг. Для цього траву беруть порціями по 150-200 г з 10 різних місць. Відбирання проб силосу і сінажу проводять у період згодовування з різних ділянок траншеї. Маса середньої проби повинна складати 1,5-2,0 кг.

Відбір проб кормів. Корми, що експортуються й імпортуються, продукти тваринництва і рослинництва досліджуються у міру їхнього надходження. Проба повинна бути типовою для об'єкту, а маса (об'єм) – достатньою для того, щоб після концентрування отримати кількість золи, необхідну для визначення сумарної β -активності й проведення радіохімічного аналізу.

Проби сіна, сінажу, соломи відбирають закладаючи їх на зиму, а також при дослідженні раціонів. Точкові проби з партії сіна або соломи, що зберігаються в скиртах, стогах, відбирають по периметру скирт, стогів на рівних відстанях один від одного на висоті 1,0-1,5 м від поверхні землі зі всіх доступних сторін із глибини не менше, ніж 0,5 м. Із точкових проб складають об'єднану пробу масою не меншою 2 кг. Для цього точкові проби сіна вкладають тонким шаром (3-4 см) й обережно перемішують, не допускаючи ламання рослин і утворення потерті.

Об'єднані проби сіна відбирається для аналізу із 10 різних місць стогу за всією площею і товщиною шару пучками масою 60-120 г. Отриману середню пробу масою не меншою 1 кг упаковують у щільний папір, паперо-вий або поліетиленовий пакет, вкладають етикетку.

Методи відбору проб продуктів рослинництва, не згаданих вище, аналогічні описаним. Так, методи відбору всіх видів круп, бобів, насіння аналогічні методам відбору проб зерна; яблука, помідори, баклажани відбираються згідно з методами відбору корене-плодів і т.д. З невеликих партій продуктів (ягоди, зелень) точкові проби беруть у 4-5 місцях. Об'єднана проба за масою чи об'ємом не повинна перевищувати триразової кількості, необхідної для вимірювання на відповідному приладі.

Силос досліджують тільки під час вступу до раціону тварин.

Компоненти раціонів годування сільськогосподарських тварин і птахів відбирають одночасно з відбором продукції тваринництва: у перший рік – щомісячно, в подальші – один раз на два місяці.

Відбір проб молока і молочних продуктів. Відбирання проб проводять на фермах, молочних пунктах, молокозаводах, холодокомбінатах і базарах. Пробу рідких продуктів (молоко,

вершки, сметана) з невеликих ємкостей (бідон, фляга і ін.) відбирають після перемішування, з великих (цистерна, чан) – з різної глибини ємкості кухлем із подовженою ручкою або спеціальним пробовідбирачем. Величина середньої проби складає 0,2-1,0 л і залежить від маси всієї партії продукції. Масло, сир і тверді сири відбирають на молокозаводах і холодокомбінатах. Залежно від маси виготовленої продукції для проби відбирають 0,5 кг сиру та 0,3 кг твердого сиру і масла. Контрольні проби молока відбирають не рідше двох разів на місяць у перший рік радіоактивного забруднення території, а в подальші роки – один раз на місяць.

Відбір проб м'яса і субпродуктів. М'ясо, внутрішні органи, кістки тварин за віком і видам відбирають безпосередньо в контрольних господарствах у період забою, але не рідше, як 4 рази на рік (взимку, навесні перед вигоном на пасовище або початком годування зеленими кормами, в середині літа і восени перед переходом на зимовий раціон).

Проби м'яса птиці (1 тушка) та яєць (10 штук) беруть щомісячно в період масового забою і здачі яєць у торгово мережу.

Проби м'ясної продукції відбирають на забійних пунктах господарств, м'ясокомбінатах, базарах. Проби м'яса (без жиру) від туші або напівтуші відбирають шматками по 30-50 г в частині 4-5-ого шийного хребця, лопатки, стегна та товстих частин спинних м'язів. Загальна маса проби повинна складати 0,2-0,3 кг. Для спеціального лабораторного дослідження відбирають також кістки кількістю 0,3-0,5 кг (хребет і 2-3-тє ребро).

Проби внутрішніх органів тварин – печінки, нирок, селезінки, легенів – відбирають масою 0,1-0,2 кг; щитоподібна залоза аналізується цілком.

Проби м'яса птахів відбирають кількістю 1/4 тушки (кури, індички, качки, гуси) або цілком (курчата).

Кількість зразків продукції, що відбираються для лабораторного аналізу, залежить від величини партії і складає при масі 1-500 кг – один зразок, 0,5-3,0 тони – два, 3-5 тон – три, 5-10 тон – п'ять, 10-20 тон – шість, від 20 тон і більше – десять зразків.

Відбір проб риби. Відбирання проб проводять на рибо-, холодокомбінатах, базарах, а також при масовому вилові – безпосередньо в рибгоспах. Дрібну рибу беруть цілою, з великої – тільки середню частину. Дослідженню підлягають всі види риби. Маса середньої проби має складати 0,3-0,5 кг. Кількість проб визначається величиною партії.

Проби молока, м'яса, риби при тривалому транспортуванні консервують 4-5%-м розчином формаліну.

Відбір проб яєць. Відбирання проб проводять на птахофабриках, птахофермах, господарствах і на базарах. Величина проби – 5-10 шт. із однієї птахоферми, 3 шт. – від кожної тисячі упакованої партії, 2 шт. – від партії ринкового продажу.

Відбір проб меду. Відбирання проб проводять на пасіках, складах, базах господарств, базарах. Відбирання проб проводять трубчастим алюмінієвим пробовідбірником, якщо мед рідкий, або щупом для масла, якщо мед щільний, із різних шарів продукції. Мед, що закристалізувався, відбирають конічним щупом, занурюючи його під нахилом.

При дослідженні сотового меду з однієї рамки вирізують частину стільників площею 25 см². Якщо сотовий мед шматковий, пробу беруть по 150-300 г із кожної упаковки. Після видалення воскових кришечок зразки меду кладуть на сітчастий фільтр з діаметром осередків не більшим 1 мм, вкладений у стакан, і поміщають у термостат при температурі 40-45°C. Маса середньої проби повинна складати 0,2-0,3 кг. Обов'язково відбирають і аналізують проби меду перед здачею на заготівельні бази або торговельну мережу.

Відбір проб води й інших рідин. Відбір проб води з водних джерел проводиться лише з тих водойм, вода яких використовується для зрошення посівів, водопою тварин, промислового розведення і лову риби. Проби води слід брати поблизу місця забору води для сільськогосподарських потреб безпосередньо перед проведенням аналізу. Вода підлягає радіологічному контролю перед початком поливів.

Проби води з річок, озер, ставків і інших водних джерел беруть у місцях водопоїв один раз на місяць у весняний, літ-

ній і осінній періоди. Проби відбирають в декількох пунктах у обох берегів і посередині річки на глибині 0,5 м, а якщо глибина річки перевищує 2-3 м, то проби води беруть також на глибині 0,5 м від дна. Детальніше правила відбору проб води описані у розділі 5.

Питну воду відбирають з усіх водних джерел, при цьому слід мати на увазі, що при водозаборі з відкритого водоймища не можна змучувати осад. Необхідно брати воду і з-під крана. Об'єм проби повинен бути не меншим 1 л. Перед заповненням ємності її треба обполоснути досліджуваною водою.

Таких же правил слід дотримуватися при відборі інших рідких проб. При відборі проб із великої ємності беруть декілька окремих проб із поверхні й глибини і змішують. При відборі проб із невеликої ємності рідину можна перемішати прямо в ємності. Об'єм проби залежно від маси досліджуваної рідини складає 0,5-3,0 л.

Ці прості правила треба виконувати також при відборі сипких проб (зерно, борошно, крупа і т. д.). При цьому слід брати декілька проб у різних точках із поверхні і глибини, а потім їх перемішувати.

Середню пробу формують із 8-10 «точкових проб». Кожну відібрану середню пробу зважують, поміщають у чисту тару (скляна банка, пляшка, поліетиленовий мішок, паперовий пакет і т. п.), упаковують в ящик, опечатують. До тари прикріплюють етикетку, де вказують назву проби, місце і дату відбору, її масу, а у разі висушування проби – вказують масу сирої і сухої проб.

Крім того, при відборі проби складається акт у двох екземплярах, в якому вказують необхідні відомості:

1. Ким узяті проби (установа, посада, прізвище).
2. Місце і дата відбору проби
3. Назва продукту.
4. Опис взятих проб, номери проб і їхня маса.
5. Куди прямують проби. Мета дослідження.

6. Підписи особи, що проводила відбирання, і представника господарства.

При відборі проб у контрольних пунктах заміряють гамма-фон і дані записують в супровідному документі.

Для отримання оперативної інформації про ступінь забрудненості об'єктів навколишнього середовища при питомій активності проб вище $3,7 \times 10^3$ Бк/кг (1×10^{-7} Кі/кг, Кі/л) і в зольному залишку при питомій активності вище $3,7 \cdot 10^3$ Бк/кг зазвичай оцінюється сумарна β -активність експрес-методом у товстому шарі.

Підготовка проб до вимірювань залежить від передбачуваного методу досліджень, чутливості засобів вимірювання, радіонуклідного складу й рівня забруднення. При необхідності збільшення чутливості використовуваних методів вимірювання застосовуються рекомендовані методиками вимірювання стандартні методи концентрування – випарювання, обвуглювання; сорбції на спеціальних матеріалах і радіохімічне виділення.

При штатному режимі роботи небезпечних у радіаційному відношенні об'єктів у пробах ґрунту, рослин і води бувають присутні в основному штучні довгоживучі радіонукліди глобальних і Чорнобильських випадінь – ^{90}Sr і ^{137}Cs . У деяких випадках можуть бути виявлені продукти наведеної активності – ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{58}Co , ^{60}Co , ^{59}Fe , а також ^{131}I , ^3H . При аварійній ситуації в пробах реєструються коротко- і середньоживучі продукти поділу – ^{131}I , $^{141,144}\text{Ce}$, $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$, $^{89,90}\text{Sr}$, $^{103,106}\text{Ru}$, $^{140}\text{Ba}+^{140}\text{La}$, а також α -випромінюючі ізотопи. Для вимірювання активності радіонуклідів у відібраних і спеціально підготовлених для аналізу пробах використовують стандартні методи гамма-спектрометрії (для визначення активності γ -випромінюючих радіонуклідів, таких як ^{60}Co , $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$, $^{103,106}\text{Ru}$, $^{134,137}\text{Cs}$, ^{131}I , $^{140}\text{Ba}+^{140}\text{La}$, $^{141,144}\text{Ce}$ і т.д.), бета-спектрометрії (радіометрії) (для визначення активності β -випромінюючих радіонуклідів, таких як ^3H , ^{14}C , ^{90}Sr і т.д.) і альфа-спектрометрії (радіометрії) та ICP-MS мас-спектрометрія (для визначення активності α -випромінюючих радіонуклідів, таких як $^{235,238}\text{U}$, $^{238-240}\text{Pu}$, ^{241}Am і т.д.). Аналіз проб, забруднених складною сумішшю радіонуклідів, може виконуватися тільки з використанням високороздільної напівпровідникової гамма-спектрометрії відповідно до існуючих методик. Для масового аналізу проб на вміст радіонуклідів

доцільно використовувати універсальні сцинтиляційні спектрометричні комплекси.

Отримані в ході проведення радіоекологічного моніторингу агроecosистем кількісні параметри міграції радіонуклідів можуть бути використані для прогнозування радіаційного стану в зоні впливу радіаційно небезпечних об'єктів як у штатному режимі роботи, так і на випадок аварійних ситуацій.

7.5. Оптимізація відбору і вимірювань проб при радіоекологічному моніторингу

Основа будь-якого моніторингу, у тому числі і радіоекологічного – первинна експериментальна інформація. Джерелом цієї інформації виступають або безпосередні спостереження і вимірювання, що проводяться на досліджуваному об'єкті, або проби досліджуваного об'єкта, що відбираються. Однак, на практиці дуже рідко без перевірки відоме значення дисперсії величини, що визначається. Тому, як правило, на підставі вже отриманих експериментальних даних оцінюється їхнє середнє значення і його похибка із заданою довірчою ймовірністю. При цьому похибка може досягати дуже великих значень, що вимагає додаткових вимірювань. Найчастіше дослідники при характеристиці якості виконаних досліджень наводять лише похибку вимірювання одиначної наважки взятої від проби, поширюючи її на значення величини, яке характеризує весь об'єкт дослідження (щільність забруднення території, питомий вміст і т.д.), що веде до заниження істинної похибки визначення досліджуваної величини, а, головне, до невірних висновків щодо досліджуваного явища.

При узагальненні моніторингової інформації і наступному прийнятті тих чи інших рішень виникає питання про репрезентативність отриманих результатів. Тому важливою частиною радіоекологічного моніторингу є:

– забезпечення відбору репрезентативної сукупності проб, що характеризують досліджуваний об'єкт;

- дотримання правильного режиму обробки проб перед вимірюванням (процес підготовки проб);
- достовірність результатів вимірювання.

Наприклад, для коректної оцінки щільності забруднення території, питомої активності ґрунту чи рослинності, концентрації радіонуклідів у повітрі від репрезентативності відібраних для вимірювання проб (їхньої кількості, маси проби, площі, глибини і кроку відбору проб) залежить точність визначення вмісту радіонуклідів у досліджуваному об'єкті та можливість усереднення того чи іншого параметра. Наявність випадкових факторів, таких, як присутність у пробах «гарячих» часток (часток аномально високої активності), може приводити до великих похибок при визначенні параметрів і при екстраполяції результатів вимірювання на досліджуваний об'єкт. Питання репрезентативного відбору проб є особливо актуальним при проведенні комплексного радіоекологічного моніторингу, на основі якого розраховуються дози опромінення жителів населених пунктів, розташованих на території, забрудненій радіоактивними випадіннями в результаті аварії на Чорнобильській АЕС.

Для проведення репрезентативного відбору проб різноманітних об'єктів навколишнього середовища, продукції виробничої і сільськогосподарської діяльності, необхідно мати уявлення про джерело радіоактивного забруднення, фізико-хімічні властивості радіоактивних випадінь і особливості міграції радіонуклідів у навколишньому середовищі. Наявність паливних частинок у початкових радіоактивних випадіннях і їхнє подальше розчинення з різною швидкістю в ґрунтах навіть на невеликих ділянках робить забруднення ґрунту радіонуклідами вкрай неоднорідним. На нерівномірність забруднення радіонуклідами проб ґрунту, що відбираються, також істотно впливає неоднорідність мікрорельєфу, перерозподіл радіонуклідів під дією біогенних факторів, діяльність людей, а також дикі тварини (рис. 7.2). Варіабельність забруднення сільськогосподарської продукції навіть з одного майданчика обумовлена ще й додатковими факторами і може досягати одного порядку, тобто різнитися у десять разів (рис. 7.3).

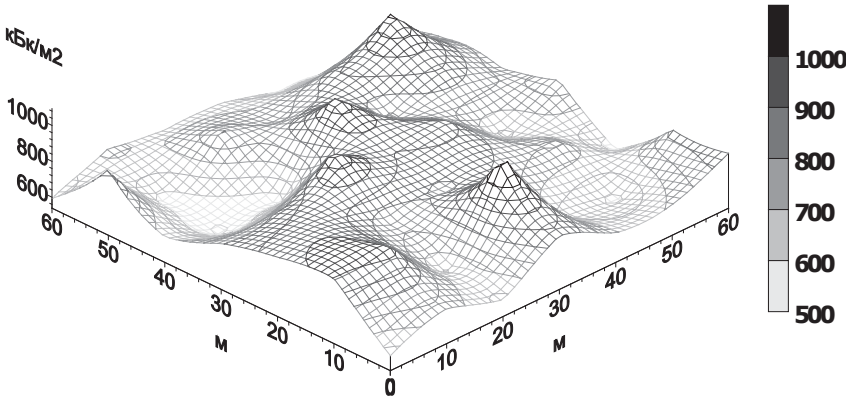


Рис. 7.2. Геостатистична картина забруднення ^{137}Cs ділянки, розташованої на орному полі поблизу с. Луговики Поліського району (серпень 1999 р). Крок відбору проб 10 м (Ю.В. Хомути́н та ін., 2002)

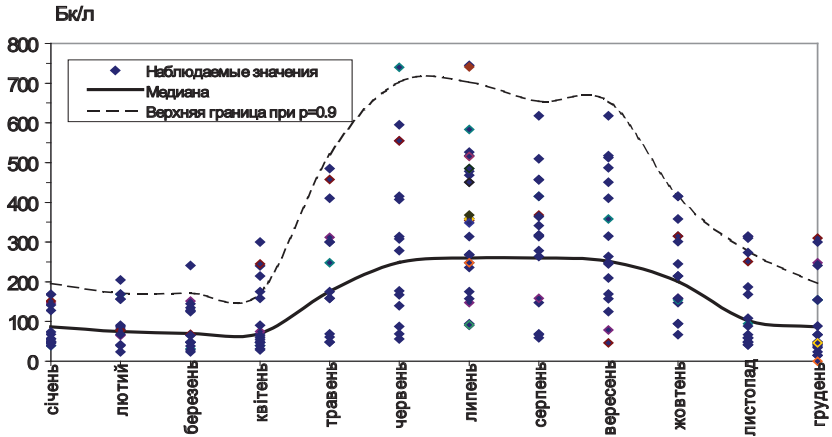


Рис. 7.3. Річна динаміка забруднення молока (кожна точка – питома активність ^{137}Cs в молоці однієї корови, кожен місяць пробовідбір молока у всіх корів, що випасалися на одному пасовищі, проводився в один день) у населеному пункті с. Милячі, Рівненська область, Дубровицький район (1997 р.) (Ю.В. Хомути́н та ін., 2002)

Наявність окремих паливних частинок у відібраній пробі ґрунту може також привести до великих помилок при вимірюванні її активності. Наприклад, результат гамма-спектрометричних вимірювань може варіювати в межах порядку вимірюваної величини залежно від положення паливних частинок у вимірювальній ємності та її геометрії. При використанні невеликих наважок для радіохімічних аналізів існує ймовірність їхнього попадання у вимірювану наважку. У цьому випадку питома активність наважки може також не відповідати питомій активності всієї проби.

З огляду на значну трудомісткість робіт із відбору проб і високу вартість вимірювань, актуальним є питання оптимізації об'єму проб, що відбираються і проведених вимірювань для оцінки необхідних параметрів забруднення об'єктів навколишнього середовища із заданою похибкою при мінімальних витратах. Тому визначення мінімально необхідного числа проб, що відбираються, для оцінки з заданою похибкою контрольованих параметрів – важлива задача забезпечення якості радіоекологічного моніторингу (планування експериментів).

Оптимізація відбору і вимірювання проб при радіоекологічному моніторингу – репрезентативного відбору проб ґрунту, рослин і молока, а також вимірювання зразків, що мають істотну об'ємну неоднорідність (гарячі частинки), була розроблена на основі результатів досліджень, проведених УкрНДІСГР за час ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. У результаті цієї роботи вирішено питання оптимального планування відбору репрезентативних вибірок проб ґрунту, рослин і молока. Отримані результати покладені в основу цілого ряду науково-методичних розробок, що мають велике практичне значення при проведенні радіоекологічного моніторингу ґрунту, рослин і молока в населених пунктах. Побудовані номограми (рис. 7.4) дозволяють до проведення пробовідбору оцінити необхідну кількість проб об'єктів радіоекологічного моніторингу, яка забезпечить необхідну точність отримання середніх радіологічних показників. Так, наприклад, якщо треба визначити середню щільність забруднення дослідного майданчика ^{137}Cs і його питому активність у рослинності з відносною похибкою близько 20% (на рівні $\pm\sigma$), то при похибці вимірювань активності в пробах гамма-спектро-

метричною апаратурою не більше 10%, необхідно відібрати 8 точкових проб ґрунту і не менше 12 рослинних проб. Для визначення коефіцієнту переходу ^{137}Cs із ґрунту в рослини з такою ж похибкою на цьому майданчику треба відібрати ще більшу кількість проб.

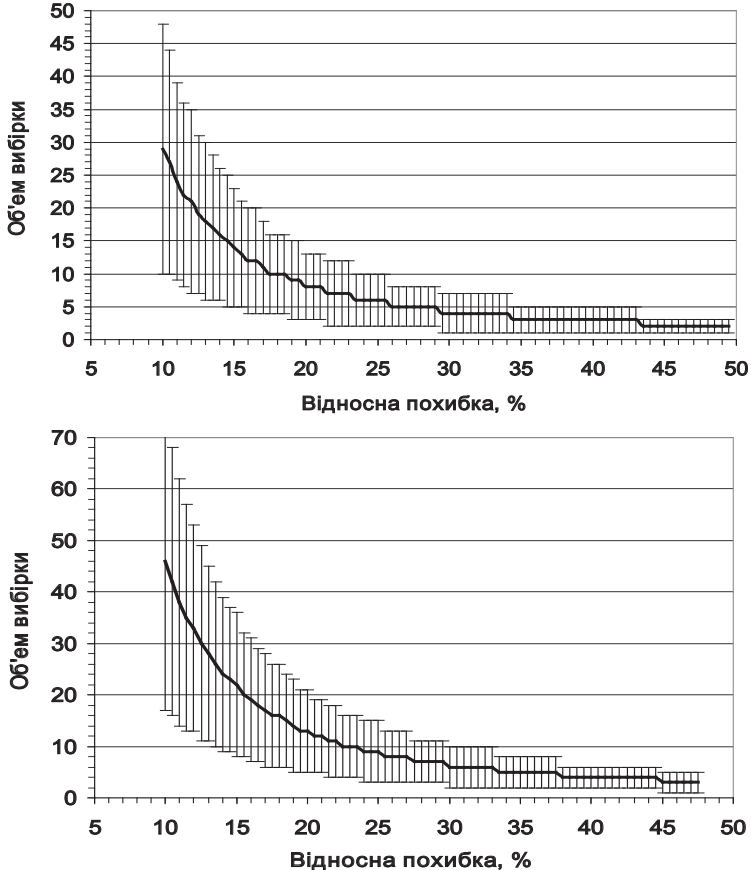


Рис. 7.4. Номограми розрахунку мінімально необхідного об'єму вибірки для оцінки середнього значення щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs (а) та питомого вмісту ^{137}Cs у рослинах (б) з заданою відносною похибкою при відносній похибці вимірювання $\delta_{\text{вим}} \leq 10\%$ на рівні $\pm\sigma$ (Ю.В. Хомутінін та ін., 2002)

Контрольні запитання до розділу 7:

1. *Яка різниця між радіоекологічним моніторингом агроєкосистем і радіоекологічним моніторингом агропромислового виробництва?*
2. *Мета радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва.*
3. *Завдання радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва.*
4. *Основні об'єкти радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва в рослинництві.*
5. *Основні об'єкти радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва в тваринництві.*
6. *Що є найоб'єктивнішим джерелом інформації про радіаційну обстановку в агропромисловій сфері?*
7. *Для яких умов здійснюється поточний, а для яких умов – оперативний радіоекологічний моніторинг агропромислового виробництва?*
8. *Види спостережень за рівнями радіонуклідного забруднення агроєкосистем.*
9. *Структура системи радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва.*
10. *Складові радіоекологічного моніторингу агропромислового виробництва.*
11. *Види спостережень за рівнями радіонуклідного забруднення агроєкосистем, що виділяють залежно від термінів і періодичності.*
12. *Основні показники, що характеризують радіоекологічну ситуацію, яка існує чи склалася в агропромисловому виробництві внаслідок радіаційного інциденту.*
13. *Правила відбору проб ґрунту для радіометричних аналізів.*
14. *Особливості відбору проб сільськогосподарських рослин для радіометричних аналізів.*
15. *Правила відбору проб рідких і сипучих продуктів для радіометричного аналізу.*
16. *Шляхи оптимізації відбору та вимірювань проб при радіоекологічному моніторингу.*

РОЗДІЛ 8. ОРГАНІЗАЦІЯ РАДІОЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ В УКРАЇНІ І В СВІТІ

8.1. Організації, що здійснюють радіоекологічний моніторинг в Україні. 8.2. Організація моніторингу за станом навколишнього середовища на території зони відчуження Чорнобильської АЕС. 8.3. Інтеграція України в Міжнародну систему радіоекологічного моніторингу. 8.4. Міжнародні рекомендації з питань радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища й опромінення населення. 8.5. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів у кормах, сировині, харчових продуктах та питній воді в Європейському співтоваристві, Україні та інших країнах. 8.6. Сучасна радіоекологічна ситуація в Україні.

Радіаційні аварії, які можуть спричинити наслідки поза об'єктами ядерного паливного циклу (ЯПЦ), поширюються на великі території та становлять загрозу для людей та природи, є важливим чинником небезпеки для України. Ця обставина вимагає встановлення на території країни надійних систем раннього попередження про можливі випадки аварійності на радіаційно небезпечних об'єктах та підтримки прийняття рішень у такій ситуації. Деякі кроки щодо створення таких систем були зроблені в колишньому СРСР після аварії на Чорнобильській АЕС. Рада Міністрів СРСР прийняла постанову про створення Єдиної державної автоматизованої системи контролю радіаційної обстановки (ЕДАСКРО), яка включала розробку Республіканської автоматизованої системи радіаційного контролю «Україна». Проте після розпаду союзу робота над цією ідеєю була заморожена, виділення коштів на її реалізацію припинилося.

На території України є чимало джерел радіоактивного забруднення, що підвищує потенційну небезпеку для населення та навколишнього середовища. Існує чотири атомні електростанції з 15 реакторами, об'єкт «Укриття», сховища радіоактивних відходів у зоні відчуження Чорнобильської АЕС, шість міжрегіональних спеціальних комбінатів для захоронення радіоактивних відходів, 20 родовищ урану, п'ять гірничо-видобувних комбінатів, гідрометалургійний збагачувальний

комбінат, Придніпровський хімічний завод з хвостосховними ставками, а також сотні підприємств, які використовують радіоактивні речовини, радіоізотопні пристрої та джерела іонізуючого випромінювання. Крім того, біля с. Смоліно Кіровоградської області планується побудувати завод із виробництва ядерного палива для українських АЕС, який також можна віднести до радіаційно небезпечних об'єктів.

Окрім об'єктів ЯПЦ, на радіаційну безпеку також впливають наукові установи, а саме Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, який спільно з Національною лабораторією Арагону (США) проводить дослідження з використанням джерел нейтронів на базі критичної збірки Sub-A, контрольованої лінійним прискорювачем. Метою проекту є створення експериментальної бази для досліджень нейтронно-фізичних досліджень із використанням інтенсивних потоків нейтронів. Вплив об'єкта на населення та навколишнє середовище незначний, але у випадку аварійної ситуації це може спричинити важкі наслідки.

На радіаційну обстановку в Україні також впливають підприємства нафтогазової, вугільної та теплової енергетики, що спричинено викидами та скидами, які містять природні радіонукліди. Вклад у ситуацію може також здійснюватися атомними електростанціями в Росії, Болгарії, Румунії, Чехії, Угорщині, Словаччині, які знаходяться в безпосередній близькості від нашої території.

В 1990-1994 рр. у рамках програми ТАСІС щодо європейської політики ядерної безпеки для України була розроблена система раннього сповіщення для радіаційних аварій «Гамма-1». Проект передбачав створення мережі датчиків навколо атомних електростанцій, Національного наукового центру «Харківський фізико-технічний інститут», Інституту ядерних досліджень НАН України та зони відчуження Чорнобильської АЕС. У 1997 р. створена частина системи (зараз вона практично не функціонує), але проект у цілому не був реалізований.

Очевидно, під впливом подій у Японії в 2011 р. Кабінет Міністрів України вирішив відновити роботу щодо створення ЄДАСКРО і в січні 2012 р. затвердив план заходів у цьому напрямку. Серед запланованих на той час заходів були такі: модернізація АСКРО на державному

підприємстві НАЕК «Енергоатом» та її інтеграція в Єдину систему, що забезпечує контроль за радіаційною обстановкою на території населених пунктів, які знаходяться в зоні спостереження через підвищену радіаційну небезпеку – ДП «СхідГЗК»; забезпечення контролю радіаційної обстановки в науково-дослідних та навчальних закладах, діяльність яких пов'язана з використанням ядерних об'єктів; забезпечення контролю над радіаційною обстановкою на території великого підприємства з поводження з радіоактивними відходами країни Української державної асоціації «Радон»; організація моніторингу на сховищах відпрацьованого ядерного палива Державного спеціалізованого підприємства «Центральне підприємство з поводження з радіоактивними відходами» (ДСП «ЦППРВ»), головному центрі спеціального контролю Державного космічного агентства України та інтеграція всіх вищезгаданих систем в єдину мережу. На жаль, у 2015 р. організацію ЄДАСКРО було призупинено.

Нині в усьому світі різними організаціями проводиться регулярний екологічний моніторинг практично всіх об'єктів навколишнього природного середовища, невід'ємною частиною якого є радіоекологічний моніторинг.

8.1. Організації, що здійснюють радіоекологічний моніторинг в Україні

Аналіз ситуації щодо стану та реалізації моніторингу в Україні, у тому числі і радіоекологічного моніторингу, свідчить про те, що:

– в державі існує декілька незалежних мереж спостережень за різними станами природного середовища, які належать до різних державних структур;

– організації, за винятком структур Гідромету, виконують в основному, відомчий моніторинг стану природного середовища для вирішення своїх спеціальних завдань, що ускладнює отримання єдиної картини стану навколишнього середовища;

– майже всі служби спостережень виконують різні завдання, і тому методики спостережень у багатьох випадках різні, у зв'язку з чим ускладнюється питання порівняння даних спостережень;

– в Україні немає служби, яка здійснювала б комплексний контроль за всіма видами негативного впливу іонізуючого випромінювання на людину і навколишнє природне середовище з позицій єдиного методологічного підходу, який базувався б на сучасній інформаційній основі, а також був би здатний системно опрацьовувати найоптимальніший шлях розвитку соціуму і держави.

В Україні, як уже згадувалося, радіоекологічний моніторинг проводять відповідні підрозділи Міністерств: з питань надзвичайних ситуацій (МНС), охорони здоров'я (МОЗ), аграрної політики (МАП), екології та природних ресурсів (Мінприроди), а також Державна агенція з управління зоною відчуження (ДАЗВ), Державна інспекція з ядерного регулювання України (ДІЯРУ), Держкомлісгосп, Держводгосп, Держкомгідромет (рис. 8.1), окремі науково-дослідні інститути, лабораторії зовнішньої дозиметрії підприємств ЯПЦ та деякі інші організації.

Державна інспекція з ядерного регулювання України (ДІЯРУ, <http://www.snrc.gov.ua>) є головним компетентним центральним органом виконавчої влади, що регулює ядерну та радіаційну безпеку в Україні.

Як регулятор ДІЯРУ не залежить від організацій, що використовують ядерну енергію (ДП НАЕК «Енергоатом», ДП «СхідГЗК» тощо). Згідно з міжнародними вимогами Інспекція відповідає за видачу офіційних дозволів, прийняття регуляторних заходів, проведення оглядів та оцінок, проведення перевірок та застосування санкцій, а також впровадження принципів безпеки, критеріїв, положень та керівних принципів.

Основними функціями Державної інспекції ядерного регулювання України у регулюванні безпеки атомної енергії є:

- встановлення критеріїв безпеки, вимог та умов використання ядерної енергії (формування правил);
- видача дозволів та ліцензій на діяльність у цій галузі на підставі документів, наданих ліцензіатом, для підтвердження відповідності його діяльності вимогам безпеки (оцінка безпеки та ліцензування);
- забезпечення державного нагляду за дотриманням законодавства, стандартів, правил та положень із ядерної та радіаційної безпеки, застосування санкцій, передбачених законодавством у разі порушень (нагляд та виконання).



Рис. 8.1. Станції Держкомгідромету за видами спостережень:

- а – потужність експозиційної дози γ -випромінювання;
- б – атмосферні випадіння, потужність експозиційної дози γ -випромінювання;
- в – атмосферні випадіння, повітряні аерозолі, потужність експозиційної дози γ -випромінювання;
- г – атмосферні випадіння, повітряні аерозолі, потужність експозиційної дози γ -випромінювання, атмосферні опади.

Базовий тип моніторингу забезпечується наявністю відповідної мережі пунктів нагляду по всій території України і в зонах спостереження підприємств ЯПЦ. Оптимальний та систематичний контроль із необхідною в часі частотою оцінки потужності іонізуючого випромінювання та радіоактивного забруднення достатнього числа контрольованих об'єктів гарантує виявлення змін радіологічного стану за рахунок зміни штатних технологічних режимів у країні або транскордонного переносу радіонуклідів.

Система кризового моніторингу формується на базі відповідних територіальних і галузевих структур нагляду й контролю навко-

лишнього середовища, включаючи його різні об'єкти, і забезпечує оперативний контроль за дотриманням гранично допустимих рівнів (концентрації, викидів і т.п.) з метою радіаційного захисту населення і персоналу, а також швидкого реагування для запобігання чи локалізації аварій і катастроф.

Науковий моніторинг забезпечує контроль окремих показників довкілля для верифікації моделей і прогнозування на їхній основі наслідків довготермінових змін радіологічного стану, інтеркалібровки і верифікації даних базового й оперативного моніторингу. Координацію наукового моніторингу здійснюють відповідні структури НАН та НААН України, галузеві науково-дослідні інститути та деякі інші організації.

Радіоекологічний моніторинг є невід'ємною частиною системи радіаційної безпеки, що гарантується низкою нормативно-правових актів України, а саме – «Положення про державну систему моніторингу довкілля», яке затверджене Постановою КМ України від 30 березня 1998 р. № 391. Згідно з цією Постановою, *Державна система моніторингу довкілля – це система спостережень, збору, обробки, передачі, зберігання та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробки науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень для запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.*

Система моніторингу України є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн, це відкрита інформаційна система, пріоритетами функціонування якої є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства, збереження природних екосистем, відвернення кризових змін екологічного стану довкілля і запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям.

В Україні обов'язки щодо радіоекологічного моніторингу окремих сфер між переліченими вище відомствами й організаціями розподіляються таким чином:

ДП НАЕК «Енергоатом», що є компанією-монополістом у сфері генерації атомної електроенергії, забезпечує функціонування систем АСКРО на діючих АЕС України в системі реального часу (рис. 8.2.).

Значення гамма-фону у зоні спостереження Хмельницької АЕС станом на 13:18:00

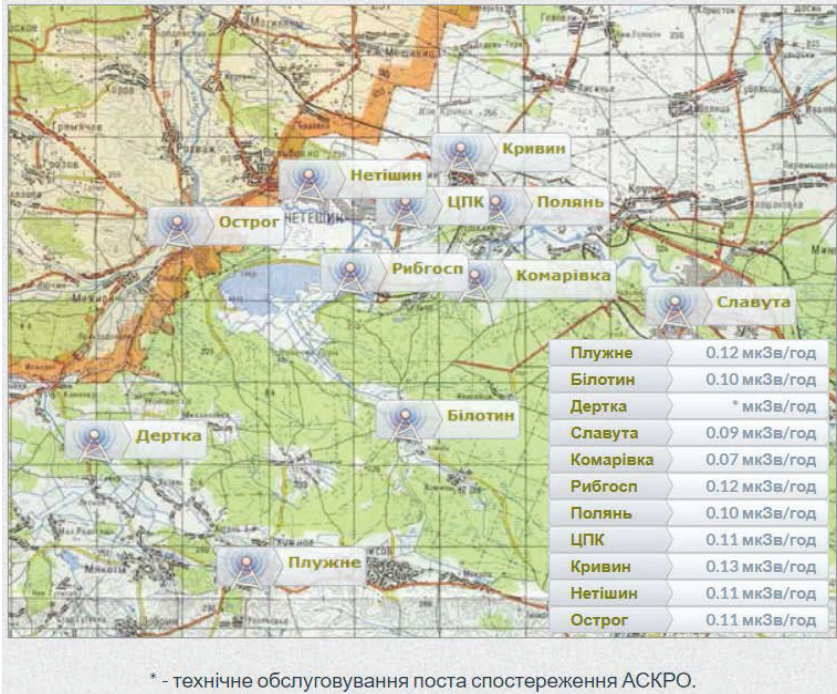


Рис. 8.2. Карта системи АСКРО в реальному часі, реалізованої на Хмельницькій АЕС станом на 06.11.2018, 13.18

Інформацію щодо радіаційного стану на АЕС у системі реального часу можна отримати за такими посиланнями:

- Запорізька АЕС – www.npp.zp.ua/Home/Ascro;
- Хмельницька АЕС – www.xaec.org.ua/store/pages/ukr/nuccon/latest/page.html;
- Рівненська АЕС – www.rnpp.rv.ua/schema-30.html;
- Південно-Український енергетичний комплекс – www.sunpp.mk.ua/ru/tags/askro;
- Загальну інформацію можна отримати на сайті «Енергоатома» – energoatom.kiev.ua/ua/ascro_zaes/.

Мінприроди визначає вміст радіонуклідів в атмосферному повітрі та опадах, джерелах промислових викидів в атмосферу, поверхневих і морських водах, джерелах скидів стічних вод, у водних об'єктах у межах природоохоронних територій (фонова кількість радіонуклідів), у ґрунтах різного призначення; проводить оцінку радіаційної обстановки на пунктах стаціонарної мережі, у наземних і морських екосистемах, звалищах промислових і побутових відходів.

Український гідрометцентр визначає вміст радіонуклідів в атмосферному повітрі, поверхневих і підземних водах, наземних і водних екосистемах, ґрунтах і ландшафтах, джерелах викидів в атмосферу, джерелах скидів стічних вод, об'єктах поховання радіоактивних відходів на територіях, підпорядкованих ДАЗВ, а також в інших зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС).

МОЗ здійснює радіологічні визначення у місцях проживання і відпочинку населення, у тому числі на природних територіях курортів, поверхневих вод суші і питної води, морських вод, мінеральних і термальних вод, лікувальних грязей, озокериту, ропи лиманів та озер, проводить оцінку інтенсивності іонізуючого випромінювання.

Мінагрополітики і продовольства здійснює радіологічні визначення у ґрунтах сільськогосподарського використання, сільськогосподарських рослинах і рослинницькій продукції, сільськогосподарських тваринах і тваринницькій продукції, поверхневих водах сільськогосподарського призначення.

Держкомлісгосп здійснює радіологічні визначення в ґрунтах лісового фонду, лісовій рослинності, мисливській фауні.

Держводгосп проводить оцінку вмісту радіонуклідів у воді річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водойм у межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання; водойм у зонах впливу атомних електростанцій; поверхневих вод у прикордонних зонах і місцях їх інтенсивного виробничо-господарського використання.

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин системи моніторингу покладається на ДІЯРУ, Мінприроди із залученням суб'єктів цієї системи, а також НАН і НААН України та здійснюється на основі:

- єдиної науково-методичної бази щодо вимірювання параметрів і визначення показників стану довкілля, біоти і джерел антропогенного впливу на них;

- впровадження уніфікованих методів аналізу і прогнозування властивостей довкілля, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації;

- загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних і знань, картування і картографування інформації, стандартних технологій із використанням географічних інформаційних систем.

8.2. Організація моніторингу за станом навколишнього середовища на території зони відчуження Чорнобильської АЕС

Державне спеціалізоване підприємство «Екоцентр», створене за ініціативою МНС, а наразі підтримується його правонаступником у ЧЗВ – ДАЗВ. Підприємство засноване на державній власності, як юридична особа функціонує з 02.02.2016 і безпосередньо підпорядковане ДАЗВ, яке, в свою чергу, підпорядковується безпосередньо Президенту України.

Підприємство виконує роботи з ліквідації наслідків аварії на Чорнобильській АЕС, які визначені Законом України «Про правовий режим території, що зазнала радіоактивного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи», Концепцією Чорнобильської зони відчуження на території України, нормативно-правовими документами України на території зони відчуження і зони безумовного (обов'язкового) відселення (ЗВіЗБ(О)В), а також в інших зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, а саме:

- проведення моніторингу навколишнього природного середовища на територіях, підпорядкованих ДАЗВ;

– здійснення заходів щодо забезпечення бар'єрної функції зони відчуження для запобігання виносу радіонуклідів за межі зони відчуження водним шляхом;

– забезпечення радіаційного та дозиметричного контролю при виконанні робіт персоналом підприємств зони відчуження (ЗВ).

Основним завданням ДСП «Екоцентр» є забезпечення заходів щодо мінімізації розповсюдження та виносу радіонуклідів за межі ЗВ. Відповідно до нього підприємство веде свою діяльність за такими напрямками:

– проведення радіоекологічного моніторингу на територіях радіоактивного забруднення;

– експлуатація та технічне обслуговування автоматизованих систем радіаційного контролю (АСКРО);

– проведення радіаційно-дозиметричного контролю (якщо такий на підприємствах відсутній) при виконанні у ЗВ будівельно-монтажних, дезактиваційних робіт, робіт зі збирання і захоронення радіоактивних відходів (РАВ) та інших видів господарської діяльності підприємств;

– забезпечення радіаційного контролю персоналу ЗВ, транспорту і вантажів на контрольно-дозиметричних пунктах (КДП) для запобігання поширенню радіоактивного забруднення за межі ЗВ;

– проведення радіаційного контролю при захороненні РАВ на пункті захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ), проведення дезактивації на дільниці дезактивації транспорту (ДДТ) ПуСО «Лелів», і в спецпальні у м. Прип'ять;

– проведення індивідуального дозиметричного контролю (ІДК) зовнішнього опромінення персоналу та вмісту радіонуклідів в організмі людини, відновлення та уточнення доз опромінення учасників ліквідації наслідків аварії (ЛНА) на ЧАЕС і громадян евакуйованих із ЗВ;

– сервісне обслуговування систем радіаційного контролю на КДП, ремонт дозиметричних та радіометричних приладів і обладнання;

– технічне забезпечення та сервісне обслуговування інформаційних управлінських систем, локальних мереж, парку комп'ютерної та оргтехніки підприємства;

– проведення досліджень і робіт із радіоекології та проблем реабілітації території ЗВ;

– технічне обслуговування та контрольні огляди водоохоронних споруд, контрольньо-спостережних свердловин, меліоративних систем у ЗВіЗБ(О)В, тампонаж покинутих колодязів та свердловин.

Радіоекологічний моніторинг здійснювався підрозділами ДСП «Екоцентр» та інформаційним науково-аналітичним відділом (ІНАВ) шляхом виконання регламенту, узгодженого з регулюючими органами – Державною інспекцією ядерного регулювання України (ДІЯРУ), Міністерством охорони здоров'я України (МОЗ) і затвердженого Головою ДАЗВ.

До системи радіоекологічного моніторингу ЗВ входить 146 пунктів спостереження різного призначення (місця виробничої діяльності персоналу, ландшафтні полігони, гідрологічні створи, пункти відбору проб приземного шару атмосфери, планшети радіоактивних випадів радіонуклідів з атмосфери тощо), 145 спостережних свердловин, 7 колишніх населених пунктів (рис. 8.3).

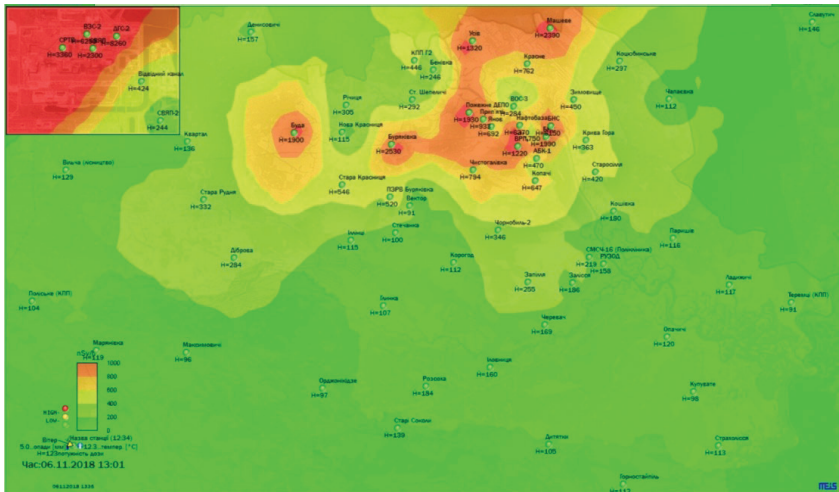


Рис. 8.3. Карта Комплексної системи радіаційного моніторингу в реальному часі, реалізованої на території ЗВ ЧАЕС станом на 06.11.2018

Аналітичні матеріали, які готуються ІНАВ для суб'єктів системи моніторингу про радіаційний стан та зміни в об'єктах навколишнього природного середовища ЗВ, є основою для розробки й прийняття управлінських рішень щодо здійснення заходів, направлених на мінімізацію наслідків аварії на ЧАЕС у частині виносу радіонуклідів за межі ЗВ.

Радіоекологічний моніторинг на території ЗВ охоплює визначення: потужності еквівалентної дози (ПЕД), щільності забруднення ґрунту, концентрації радіонуклідів у повітрі (в тому числі робочих зон та приміщень), інтенсивності радіоактивних атмосферних випадіннь, концентрації радіонуклідів у поверхневих, підземних, питних та стічних водах, вмісту радіонуклідів у донних відкладах водойм і водотоків, біологічних об'єктах (рослинність, гриби, риба та ін.), а також здійснення вимірювань окремих гідрометеорологічних параметрів.

Особлива увага при цьому надається організації радіоекологічного моніторингу повітряного середовища ЗВ. Різний характер радіоактивного забруднення території дозволяє умовно розділити її на близьку та далеку зони спостереження і згрупувати пункти контролю за цією ознакою.

Спостереження за радіаційним станом повітряного простору ЗВ проводиться за трьома основними напрямками:

- приземний шар атмосфери на 4-х пунктах близької та 10-ти – далекої зони;
- повітря на виробничому об'єкті Пункт захоронення радіоактивних відходів (ПЗРВ) «Буряківка»;
- випадіння радіонуклідів із атмосфери на 25-ти пунктах спостереження.

Спостереження за радіаційним станом приземного шару атмосфери близької зони проводилися на виставлених ДСП «Екоцентр» постах. Регламентні роботи з контролю радіаційного забруднення приземного шару атмосфери у далекій зоні спостереження виконуються на окремих пунктах контролю мережі АСКРО. Сюди віднесені також місця найтривалішого перебування персоналу ЗВ: м. Чорнобиль і КПП «Дитятки».

Здійснюється контроль повітря на небезпечному за рівнем інгаляційного надходження радіонуклідів виробничому об'єкті ПЗРВ «Буряківка», що знаходиться на території ЗВ і пов'язаний з переробкою радіоактивних відходів.

Відбір проб на пунктах мережі спостереження здійснюється за допомогою аспіраційних пристроїв АУРА 02.11. Проби радіоактивних аерозолів відбираються шляхом безперервного прокачування повітря через фільтри з тканини Петрянова (ФПП-15-1,5) і заміною їх через кожні 5-7 діб.

Для кожної проби радіоактивних аерозолів, отриманої прокачуванням повітря через фільтр, виконується гамма-спектрометричний аналіз. Об'ємна активність бета- (^{90}Sr) і альфа (^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$) випромінюючих нуклідів у аерозолях визначалася радіохімічними методами раз на місяць.

Проби випадінь із атмосфери відбираються на пунктах спостереження АСКО, у заснованих ДСП «Екоцентр» точках реперної мережі та на КПП «Лелів». Для відбору проб випадінь із атмосфери використовуються планшети, встановлені на висоті 1 м над поверхнею ґрунту. Вловлюючим матеріалом є марлевий фільтрувальний матеріал. Час експозиції планшетів – від 10 до 20 діб. Проби в кожному пункті відбираються 2 рази за місяць і всі надсилаються на гамма-спектрометричний аналіз.

Визначення об'ємної активності ^{90}Sr та ізотопів плутонію здійснюється для об'єднаних за квартал проб.

8.3. Інтеграція України в міжнародну систему радіоекологічного моніторингу

У 2014 р. Україна стала частиною міжнародної Групи моніторингу навколишнього середовища радіоактивності (REM) (рис. 8.4.) Об'єднаного дослідницького центру (JRC) Європейської комісії для надання кваліфікованої інформації про рівень радіоактивності навколишнього середовища для населення, держав-членів Європейської комісії та Європейського парламенту.

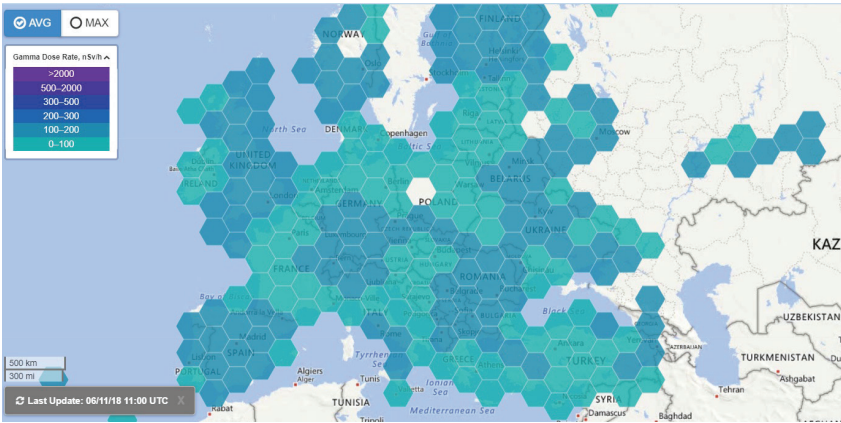


Рис. 8.4. Карта Комплексної системи радіаційного моніторингу в реальному часі, реалізованої на території ЄС станом на 06.11.2018. Джерело карти: <https://remap.jrc.ec.europa.eu/GammaDoseRates.aspx>

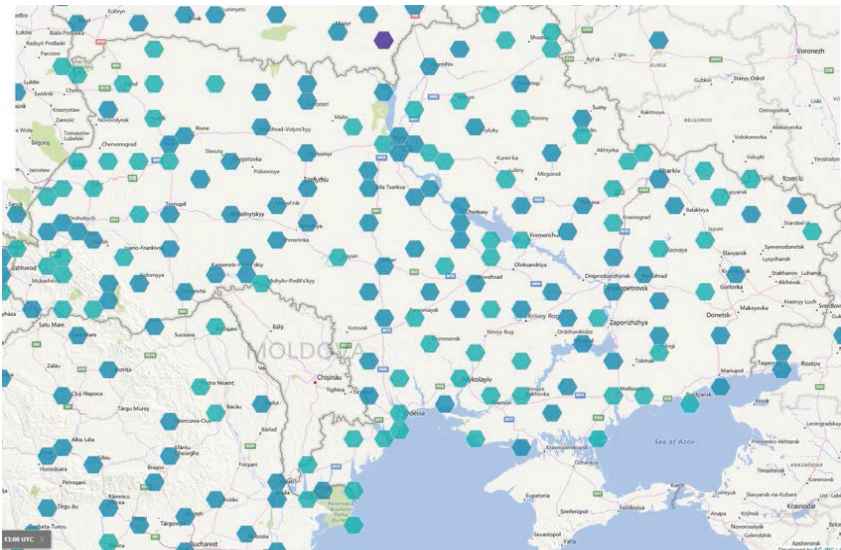


Рис. 8.5. Деталізована карта України в системі REM станом на 06.11.2018

Інформація про радіоактивність навколишнього середовища надається як дані моніторингу в режимі реального часу та оцінки природних рівнів радіоактивності через:

– Європейську мережу обміну радіологічними даними (EURDEP) для обміну даними про радіологічний моніторинг між країнами-учасницями майже в реальному часі. Інформація з моніторингу збирається з автоматичних систем спостереження у 39 країнах. Ці дані суттєво відображають природний фон випромінювання, якщо не відбуваються радіологічні події.

– Європейський атлас природного випромінювання (EANR) – це збірка карт Європи, що відображає рівні природної радіоактивності, викликані різними джерелами (наприклад, радоном у приміщенні, космічним випромінюванням, наземним гамма-випромінюванням, природними радіонуклідами в ґрунті та наземній території).

Українська мережа (рис. 8.5.) складається з двох типів пунктів моніторингу:

Тип 1: моніторинговий пост, обладнаний двома детекторами, включаючи лічильник Гейгера-Мюллера та сцинтиляційний детектор NaI. Вони автоматизовані, отримувані дані транслюються кожні 5 хв. Такі детектори встановлені, як частина систем АСКРО АЕС та ЗВ ЧАЕС.

Тип 2: Пост геометологічного моніторингу, де потужність повітряної дози вимірюється вручну кожного дня один раз на день, а потім завантажується в базу даних працівником станції.

При побудові системи моніторингу «ЄДАСКРО» Україна планує оснастити всі моніторингові станції детекторами типу 1, а також збільшити кількість моніторингових постів, щоб мати змогу охопити всю територію країни.

8.4. Міжнародні рекомендації з питань радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища й опромінення населення

У публікаціях Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) радіоекологічний моніторинг визначається як вимірю-

вання випромінювання або концентрації нуклідів та інтерпретація результатів вимірювання з метою оцінки (або контролю) впливу зовнішнього опромінення або радіоактивної речовини. Сучасне трактування цього поняття МАГАТЕ є аналогічним – вимірювання рівня дози чи радіоактивного забруднення для оцінки чи контролю за опроміненням у результаті впливу випромінювання чи радіоактивних речовин, а також інтерпретація результатів.

У 1996 р. МАГАТЕ разом із п'ятьма іншими організаціями опублікувало «Міжнародні основні норми безпеки для захисту від іонізуючих випромінювань і безпечного поводження з джерелами випромінювання» (ОНБ). ОНБ встановлюють вимоги щодо захисту людини від ризиків, пов'язаних із іонізуючим випромінюванням і, зокрема, вимоги щодо радіаційного контролю викидів із метою перевірки їхньої відповідності дозволеним межах, а також для забезпечення оцінки опромінення критичних груп. ОНБ також встановлює вимоги щодо радіаційного контролю й оцінки в умовах аварійного опромінення.

Згідно з рекомендаціями МАГАТЕ радіоекологічний моніторинг можна класифікувати двома різними способами залежно від того, де проводяться вимірювання: індивідуальний моніторинг (індивідуальний дозиметричний контроль), моніторинг робочого місця, моніторинг джерел іонізуючого випромінювання (підприємств ЯПЦ і т.д.), моніторинг навколишнього середовища; та за метою моніторингу – поточний моніторинг, пов'язаний із виконанням конкретного завдання, і спеціальний моніторинг.

МАГАТЕ розглядає такі види радіоекологічного моніторингу:

– *індивідуальний моніторинг (індивідуальний дозиметричний контроль)* – моніторинг (контроль) із використанням вимірювань, здійснюваних індивідуальними приладами (пристроями), які носять робітники, чи вимірювань кількостей радіоактивних речовин, які знаходяться у них в організмі чи на їхньому тілі;

– *моніторинг джерела іонізуючого випромінювання* – вимірювання активності викидів радіоактивних матеріалів у довкілля чи потужностей зовнішньої дози від джерел, які мають відношення до установи;

– *моніторинг довкілля* – вимірювання потужностей зовнішньої дози від джерел у довкіллі чи концентрацій радіонуклідів у середовищі;

– *моніторинг (контроль) робочого місця* – моніторинг (контроль) із проведенням вимірів у конкретних умовах робочого місця;

– *моніторинг території* – вид моніторингу (контролю) робочого місця, в якому територія контролюється шляхом проведення вимірів у різних точках даної території;

– *спеціальний моніторинг (контроль)* – моніторинг (контроль), що має на меті обстеження конкретної обстановки на робочому місці, у відношенні якого відсутня достатня інформація для підтвердження адекватності здійснюваного контролю, і який передбачає отримання детальної інформації для виявлення будь-яких проблем і визначення майбутніх процедур;

– *поточний моніторинг (контроль)* – моніторинг (контроль), пов'язаний із здійсненням неперервних операцій, який здійснюється для підтвердження того, що умови роботи, включаючи рівні індивідуальної дози, залишаються задовільними і для забезпечення виконання регулюючих вимог.

Сучасна стратегія радіоекологічного моніторингу навколишнього середовища та джерел іонізуючого випромінювання з метою захисту населення за умов практичної діяльності, в ситуації втручання, аварійного та пролонгованого (хронічного) опромінення наведена в табл. 8.1.

Радіоекологічний моніторинг має бути спрямований на радіаційний захист населення та довкілля і залежить від виду та потужності джерел іонізуючого випромінювання, потенційних або існуючих масштабів забруднення середовища, які досягаються за рахунок контролю таких об'єктів та явищ:

– викидів та скидів радіонуклідів, рівнів радіоактивного забруднення відходів підприємств, що добувають, виготовляють або використовують радіоактивні матеріали;

– внутрішнього опромінення населення і персоналу внаслідок перорального та інгаляційного надходження радіонуклідів у організм, а також за рівнями доз зовнішнього опромінення;

– потужності іонізуючого випромінювання та вмісту радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища.

Таблиця 8.1

Типи радіоекологічного моніторингу для різних джерел та умов (МАГАТЕ)

Категорія опромінення	Тип джерела	Тип моніторингу			
		Моніторинг джерела	Моніторинг довкілля	Індивідуальний моніторинг	Оцінка доз
Практична діяльність	Виключене звільнене або очищене	Моніторинг не потрібний			
	Зареєстроване джерело	Вимагається, якщо підходить	Не вимагається		
	Ліцензоване джерело	Вимагається		Не вимагається	Вимагається
	Багато джерел	Вимагається		Не вимагається	Як підходить
Втручання	Аварійна ситуація	Вимагається		Як прийнятно	
	Ситуація пролонгованого опромінення	Як підходить	Вимагається	Не вимагається	Як підходить

Тип програми моніторингу, а також її масштаби та обсяг, повинні відповідати характеристикам джерела при передбачуваних або існуючих швидкостях викидів, складу радіонуклідів, порівняльної значущості різних шляхів опромінення та величинам передбачуваних і можливих доз опромінення окремих осіб. Для деяких видів практичної діяльності та джерел (наприклад, лікарень або науково-дослідних інститутів, де використовуються короткоживучі радіонукліди) програма моніторингу навколишнього середовища може не бути необхідною; для деяких з них (наприклад, для невеликих ядерних установок або відділень радіаційної медицини,

в яких радіонукліди використовуються для діагностичних цілей) може бути потрібним поточний контроль джерела і тільки одноразові перевірки фонових рівнів.

Щодо інших видів практичної діяльності і джерел (наприклад, на більшості ядерних установок, у великих центрах ядерної медицини) необхідний постійний та всебічний моніторинг джерела і навколишнього середовища. Будь-яке підприємство має бути готовим до проведення аварійного моніторингу на належному рівні. Вимоги до проведення моніторингу викидів на об'єктах практичної діяльності повинні бути безпосередньо пов'язані з аспектами регулювання, що застосовуються щодо відповідних джерел. Нижче наведені міжнародні вимоги, відповідно до тих чи інших умов проведення моніторингу.

В межах радіоекологічного моніторингу основна увага приділяється тим радіонуклідам, які або формують найбільші дози опромінення людини, або є кращими індикаторами у технологічних процесах та радіаційно-ядерних технологіях. Такими радіонуклідами є: ^3H , ^{14}C , ^{36}Cl , ^{60}Co , $^{89,90}\text{Sr}$, $^{95}\text{Zr}+^{95}\text{Nb}$, $^{103,106}\text{Ru}$, $^{134,137}\text{Cs}$, $^{129,131}\text{I}$, $^{140\text{Ba}+140}\text{La}$, $^{141,144}\text{Ce}$, ^{192}Ir , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{226}Ra та ^{228}Ra , $^{235,238}\text{U}$, $^{237,239}\text{Np}$, $^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am , ізотопи радону ^{222}Rn та ^{220}Rn та їхні дочірні продукти розпаду.

В табл. 8.2 наведені рекомендовані МАГАТЕ види пробовідбору і вимірювань для різних типів моніторингу, різних джерел та умов.

Таблиця 8.2

Види вимірювань для різних типів моніторингу (МАГАТЕ)

Вимірюваний параметр (об'єкт)	Пробовідбір/вимірювання	Застосування (категорія опромінення)
1	2	3
Моніторинг джерела іонізуючого випромінювання		
Потужність дози γ -випромінювання від джерела	Стандартне on-line вимірвальне обладнання/неперервні вимірювання	Практична діяльність, втручання
Радіоактивні гази в повітрі (викиди)	Стандартне on-line вимірвальне обладнання/неперервні вимірювання	Практична діяльність, втручання

Продовження таблиці 8.2

1	2	3
Радіоактивні аерозолі в повітрі (викиди)	Стандартне on-line вимірювальне обладнання і/або пробовідбір/аналіз активності радіонуклідів, загальна α - і β -активність	Практична діяльність, втручання
Радіоактивність стічних вод (скиди)	Стандартне on-line вимірювальне обладнання і/або пробовідбір/аналіз активності радіонуклідів, загальна α - і β -активність	Практична діяльність, втручання
Моніторинг довкілля		
Потужність дози γ -випромінювання від ґрунту	Польові вимірювання мобільними чи стаціонарними дозиметрами/дискретні або неперервні вимірювання	Практична діяльність, втручання, хронічне (існуюче) опромінення
Радіоактивні аерозолі в повітрі	Пробовідбір на фільтри/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання, хронічне (існуюче) опромінення
Радіойод у повітрі	Пробовідбір специфічних фізичних і хімічних форм/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання
Радіоактивність дощової води	Дощові пробовідбірники/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання
Інтенсивність осадження радіонуклідів	In situ гамма-спектрометрія і відбір проб на горизонтальні планшети/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання
Радіоактивне забруднення ґрунту	In situ гамма-спектрометрія, польовий пробовідбір/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання, хронічне (існуюче) опромінення

Закінчення таблиці 8.2

1	2	3
Радіоактивне забруднення кормів і харчових продуктів, води і донних відкладень	Польовий пробовідбір/лабораторний аналіз активності радіонуклідів	Практична діяльність, втручання, хронічне (існуюче) опромінення

При розробці національної стратегії аварійного моніторингу необхідно враховувати як внутрішні, так і міжнародні аспекти. Аварійний моніторинг необхідно орієнтувати на отримання даних, що стосуються можливого переносу ненавмисне скинутих радіоактивних матеріалів на територію інших держав і попаданню в міжнародні води. Національна система моніторингу повинна також бути спроможною забезпечувати контроль радіоактивного забруднення довкілля, що виникає в результаті аварійних викидів, які відбуваються в інших державах.

Ситуації хронічного (тривалого) опромінення включають опромінення від радіоактивних випадінь, спричинених попередніми подіями (ситуації післяаварійного опромінення), а також у результаті здійснюваної в минулому практичної діяльності та використання джерел, не охоплених системою регулюючого контролю (об'єкти, забруднені природними довгоживучими радіонуклідами).

Еталона радіаційного захисту, який би повсюдно застосовувався у всіх державах щодо втручання в ситуаціях хронічного (тривалого) опромінення населення іонізуючою радіацією, не існує. Необхідні рівні втручання або рівні дій встановлюються національними компетентними органами залежно від обставин і, зазвичай, ґрунтуються на даних про існуючі або запобіглі дози, потужності доз у повітрі та концентраціях радіонуклідів. За даними Міжнародної комісії з радіологічного захисту (МКРЗ) втручання (відновлювальні заходи) швидше за все не є доцільним, якщо існуюча річна ефективна доза від усіх радіоактивних джерел у навколишньому середовищі не перевищує 10 мЗв.

8.5. Допустимі рівні вмісту радіонуклідів у кормах, сировині, харчових продуктах та питній воді в Європейському співтоваристві, Україні та інших країнах

Однією з основних складових радіоекологічного моніторингу є радіаційний контроль забруднення сільськогосподарської продукції і харчових продуктів для населення, спрямований на виявлення і відбракування продукції, що не відповідає прийнятим гігієнічним нормативам. Це пов'язано з тим, що встановлення і дотримання гігієнічних регламентів умісту окремих радіонуклідів у харчових продуктах та питній воді є важливим заходом зменшення доз опромінення населення (осіб категорії В).

До аварії на Чорнобильській АЕС не існувало гігієнічних нормативів щодо вмісту радіонуклідів у харчових продуктах, тому все регламентувалося межами річного надходження. В період аварії була розроблена і впроваджена методологія тимчасових допустимих рівнів (ТДР) умісту радіонуклідів у харчових продуктах і питній воді. В перші декілька тижнів після аварії основним дозуютьоруючим радіонуклідом був ^{131}I , об'ємна активність якого в пробах молока досягала $3,7 \times 10^4 - 3,7 \times 10^5$ Бк/л. На основі критеріїв для прийняття рішень у перші дні після аварії був введений тимчасовий допустимий рівень активності ^{131}I в молоці – 3700 Бк/л. Шостого травня 1986 р. цей норматив доповнено допустимим рівнем вмісту ^{131}I у питній воді, молокопродуктах, рибі, столовій зелені. Санітарний аварійний контроль на місцях був розпочатий вже в останніх числах квітня. Молоко із вмістом ^{131}I вищим за нормативний рівень відправлялося на переробку у продукти, які витримували зберігання протягом термінів, достатніх для розпаду ^{131}I (масло, сири).

Якщо ТДР по ^{131}I призначалися для короткострокового використання в перший місяць після аварії і спиралися на завчасно розроблені рекомендації, то встановлення наступних ТДР по середньо- і довгоживучих радіонуклідах ^{134}Cs , ^{137}Cs і ^{90}Sr вимагало рішення ряду нових принципових питань. Ключовим рішенням, яке значною мірою вплинуло на подальший розвиток подій і

застосування контрзаходів, було прийняття вже 30 травня 1986 р. винятково жорсткого нормативу по молоку – 370 Бк/л за сумарною β-активністю. Про поступове зменшення ТДР вмісту радіонуклідів свідчать дані табл. 8.3.

Таблиця 8.3

**Тимчасові допустимі рівні вмісту радіонуклідів
у питній воді й харчових продуктах, Бк/кг(л)
(за даними МАГАТЕ)**

Назва продукту	Дата затвердження ТДР після аварії на Чорнобильській АЕС				
	06.05.86	30.05.86	15.12.87	06.10.88	22.01.91
1	2	3	4	5	6
Питна вода	3700	370	20	20	20
Молоко	3700	370	370	370	370
Згущене молоко	–	18500	1110	1110	1110
Сухе молоко	–	3700	1850	1850	1850
Сир	37000	370	370	370	370
Сметана	18500	3700	370	370	370
Рослинна олія	–	7400	370	–	185
Маргарин	–	7400	370	–	185
Тваринні жири	–	–	370	–	185
Сир твердий	74000	7400	370	370	370
Масло	74000	7400	1110	1110	370
М'ясо, м'ясопродукти	–	3700	1850	1850	740
Яловичина	–	–	2960	2960	740
Свинина, баранина	–	–	1850	1850	740
Домашня птиця	–	3700	1850	1850	740
Яйце	–	1850	1850	1850	740
Риба	37000	3700	1850	–	740
Овочі	–	3700	740	740	600
Листові (столові) овочі	37000	3700	740	740	600

Закінчення таблиці 8.3

1	2	3	4	5	6
Коренеплоди	–	–	740	740	600
Картопля	–	3700	740	740	600
Свіжі фрукти, ягоди	–	3700	740	740	600
Сік	–	3700	740	–	–
Варення	–	–	740	–	–
Крупи	–	370	370	370	370
Хліб, хлібопродукти	–	370	370	370	370
Цукор	–	1850	370	370	370
Гриби свіжі	–	18500	1850	–	1480
Гриби сушені	–	–	11100	–	7400
Дикорослі ягоди	–	–	1850	–	1480
Овочеві, фруктові консерви	–	–	740	740	600
Мед	–	–	740	740	600
Лікарські трави	–	18500	–	–	7400
Дитяче харчування	–	–	370	370	185

Наказом МОЗ України від 03.05.2006 р. були затверджені Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs та ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді» (ДР-2006), запроваджені з метою подальшого зниження дози внутрішнього опромінення населення шляхом обмеження надходження радіонуклідів із харчовими продуктами та стимуляції створення і дотримання виробниками необхідних умов одержання чистої продукції на забруднених територіях.

Дані нормативи співпадають з гігієнічними нормативами для основних продуктів раціону харчування людини (молоко, м'ясо, картопля, хліб, риба, овочі, фрукти і т.д.), прийнятими в Україні у 1997 р. (ДР-97). Однак, вони істотно розширили список контрольованих харчових продуктів.

Харчові продукти, якість яких не відповідає встановленим нормативам, вилучаються з обігу. Ввіз в Україну, збереження і реаліза-

ція населенню харчових продуктів, що не відповідають встановленим нормативам, було заборонено.

Розроблені та введені в дію в нинішній час у Білорусі, Росії та Україні нормативи і вимоги до якості і безпеки харчових продуктів (РДУ-99; СанПиН 2.3.2.1078-01; ДР-2006) близькі між собою, проте мають деякі відмінності.

Прийняті у цих країнах після аварії на Чорнобильській АЕС для умов існуючого радіоактивного забруднення неаварійні допустимі рівні вмісту радіонуклідів у харчових продуктах не узгоджуються (є значно нижчими) з критеріями Європейської комісії (ЄС) і ВОЗ/ФАО, сформульованими в Codex Alimentarius і рішеннях Euratom, призначених для організації міжнародної торгівлі, при якій імпортується в країни ЄС менше, ніж 10% харчових продуктів (табл. 8.4).

Таблиця 8.4

**Значення допустимих рівнів вмісту ^{137}Cs
в основних харчових продуктах, які застосовуються
в ЄС, Білорусі, Російській Федерації, Україні та Японії**

Продукт	Комісія Codex Alimentarius (міжнародна торгівля, 1989)*	ЄС, Euratom (1986)**	Білорусь (1999)	Російська Федерація (2001)	Україна (1997, 2006)	Японія (2012)
Молоко	1000	370	100	100	100	50
Дитяче харчування	1000	370	37	40-60	40	50
Молочні продукти	1000	600	50-200	100-500	100	100
М'ясо і м'ясні продукти	1000	600	180-500	160	200	100
Риба	1000	600	150	130	150	100
Овочі, фрукти, картопля, коренеплоди	1000	600	40-100	40-120	40-70	100
Хліб, борошно, зернові	1000	600	40	40-60	20	100

* для міжнародної торгівлі на випадок ядерних і радіаційних аварій;

** що стосується харчових продуктів, імпортованих із Японії після аварії на АЕС «Фукусіма-1», то з 2012 р. Європейська комісія застосувала ті самі обмеження щодо вмісту ^{134}Cs та ^{137}Cs у сільськогосподарських продуктах, які були встановлені урядом Японії для продуктів, споживаних у Японії (Регламент Комісії ЄС № 996/2012 від 26 жовтня 2012 р.)

На випадок радіаційної аварії в ЄС вводяться аварійні нормативи щодо вмісту радіонуклідів у харчових продуктах (табл. 8.5) і кормах для сільськогосподарських тварин (Euratom 770/90). Максимально допустимі європейські рівні радіоактивного забруднення (^{137}Cs і ^{134}Cs) у кормах після ядерної або радіаційної аварії складають для свиней – 1250 Бк/кг, птиці, овець, телят – 2500 Бк/кг, інших тварин – 5000 Бк/кг.

Таблиця 8.5

Максимально допустимі європейські рівні радіоактивного забруднення харчових продуктів після можливої радіаційної аварії (Euratom № 3954/87, № 944/89)

Група радіонуклідів	Питома активність (Бк/кг або Бк/л)			
	Дитяче харчування	Молочні продукти	Рідкі продукти	Інші продукти
Ізотопи стронцію, особливо ^{90}Sr	75	125	125	750
Ізотопи йоду, особливо ^{131}I	150	500	500	2000
α -випромінюючі ізотопи Pu і трансплутонієвих елементів, зокрема ^{239}Pu та ^{241}Am	1	20	20	80
Всі інші радіонукліди* з періодом піврозпаду більшим 10 діб, зокрема ^{134}Cs і ^{137}Cs	400	1000	1000	1250

* ^{14}C і ^3H не включені в цю групу

Згідно з НРБУ-97 на випадок радіаційних аварій в Україні (якщо дані радіаційного моніторингу дозволяють зробити досить надійний прогноз розвитку ситуації) нижні межі виправданості і безумовно виправдані дії для прийняття рішення про вилучення, заміну й обмеження вживання радіоактивно-забруднених продуктів харчування наведені в табл. 8.6. Для інших, немолочних харчових продуктів, рівні дії вдвічі вищі. Слід підкреслити, що рішення про обмеження чи про повне вилучення (або заміну) окремих харчових продуктів є об'єктом оптимізації.

Таблиця 8.6

**Нижні межі виправданості і безумовно виправдані
рівні втручання і дії для прийняття рішення про вилучення,
заміну й обмеження вживання забруднених окремими
радіонуклідами харчових продуктів (НРБУ-97)**

Радіоактивне забруднення молока, Бк/л	Нижні межі виправданості	Безумовно виправдані рівні дії
¹³¹ I для дорослих	400	1000
для дітей	100	200
^{134,137} Cs	100	400
⁹⁰ Sr для дорослих	20	200
для дітей	5	50

8.6. Сучасна радіоекологічна ситуація в Україні

Тривала (протягом 10 днів) і складна динаміка викиду радіоактивних речовин із реактора під час аварії на Чорнобильській АЕС, а також супутня зміна метеорологічних умов призвели до складної картини забруднення величезних територій України. Чорнобильські радіоактивні випадіння представлені паливною компонентою – дрібнодисперсними частинками ядерного палива (паливними частинками) і конденсаційною компонентою, що утворилася в результаті конденсації на поверхні різноманітних носіїв парогазової фази летких продуктів поділу (радіоізотопів йоду, телуру, цезію і, значно меншою мірою – стронцію і рутенію), витік яких відбувся при високотемпературному відпаленні ядерного палива. Радіонуклідами паливної компоненти (⁹⁰Sr, ^{238–241}Pu, ²⁴¹Am і т.д.) була забруднена, в основному, ближня зона аварії – зона відчуження і прилеглі до неї території на півночі Київської області та на заході Чернігівської. За межами зони відчуження щільність забруднення ⁹⁰Sr і ТУЕ території порівнянна із рівнями глобальних випадінь після випробування ядерної зброї в атмосфері. У прилеглих до 30-км зони районах щільність забруднення території ⁹⁰Sr і ²³⁸Pu території не перевищує 40 кБк/м² і 100 Бк/м², відповідно.

Забруднення території за межами зони відчуження було пов'язане, головним чином, із леткими високорухливими радіоізотопами йоду і цезію, викид яких відбувався при високотемпературному розігріві ядерного палива. Після виходу із матриці ядерного палива радіонукліди підіймалися у конвективному потоці повітря на значну висоту, конденсувалися на різноманітних носіях і розсіювалися в атмосфері на величезні відстані. Цезієві конденсаційні плями у віддаленій зоні аварії сформувалися за рахунок випадіння ^{137}Cs разом із атмосферними опадами.

В результаті аварії найбільшого забруднення зазнали південно-західні частини Східноєвропейської рівнини та Українсько-Білоруського Полісся. Головним чином постраждало сільськогосподарське виробництво і сільське населення країни. Розподіл площ сільськогосподарських угідь за щільністю радіоактивного забруднення наведений у табл. 8.7. На підставі радіологічного обстеження, проведеного з травня по липень 1986 р., 57000 га сільськогосподарських угідь в Україні було виведено із господарського використання. На початку 1990-х років виведено ще приблизно 100 тис. га (лише на 30% цієї території рівень забруднення ^{137}Cs перевищував 555 kBк/м^2).

Тільки в період з 2 до 5 травня 1986 р. разом із населенням 30-кілометрової зони Чорнобильської АЕС було евакуйовано 50000 голів великої рогатої худоби, 13000 свиней, 3300 овець і 700 коней. Приблизно така ж кількість тварин була вивезена та виведена наступними тижнями. У зв'язку з відсутністю кормів для евакуйованих тварин і труднощами утримання великої кількості тварин на територіях, куди їх перевезли, був проведений забій евакуйованих тварин. У гострий період після аварії не було можливості диференціювати різні рівні забруднення тварин, тому в період з травня по липень 1986 р. загальна кількість забитих тварин становила 95500 голів великої рогатої худоби і 23000 свиней. Велика кількість туш була похована, частина зберігалася в холодильниках, але це призвело до великих гігієнічних, практичних і економічних ускладнень.

У 2293-х населених пунктах 72-х районів 12-ти областей України, які згідно з постановою Кабінету Міністрів України

**Площі забруднених сільськогосподарських угідь України
станом на 1 січня 1995 р.
(П.П. Надточій та ін., 2003)**

Таблиця 8.7

Область	Загальна площа, га	¹³⁷ Cs				⁹⁰ Sr			
		<37	37–185 зона 4	185–555 зона 3	>555 зона 2	<0,7	0,74–5,55 зона 4	5,55–111 зона 3	>111 зона 2
Вінницька	238.2	160.5	77.2	0.5	–	13.7	181.0	43.4	–
Волинська	161.6	155.2	6.3	0.1	–	–	–	–	–
Житомирська	618.0	291.1	238.0	42.7	9.9	44.8	1268.1	104.3	0.6
Київська	1537.0	1276.1	212.6	31.6	16.7	29.7	96.1	44.6	0.2
Рівненська	288.7	134.2	310.9	10.7	–	–	–	–	–
Сумська	127.6	115.9	6.4	0.2	–	20.9	–	–	–
Тернопільська	93.8	83.4	10.4	–	–	10.5	85.2	–	–
Чернігівська	1836.9	1762.3	6.9	5.4	0.5	53.0	1694.6	87.7	0.6
Чернівецька	135.5	118.2	17.1	0.5	–	23.7	97.0	4.9	–
Черкаська	1326.1	1209.2	110.3	6.5	0.05	–	–	–	0.07
Хмельницька	238.3	198.6	19.79	–	–	48.7	149.2	20.5	–
Івано-Франківська	92.4	71.3	19.163	0.9	–	22.0	67.1	2.2	–
Разом по Україні	6694.2	5576.0	1034.9	98.9	27.2	267	3638.2	307.8	1.47

(КМУ) від 23.01.1991 р. № 106 та розпорядженнями КМУ від 12.01.1993 р. № 17-Р і від 27.01.1995 р. № 37-Р віднесені до зон радіоактивного забруднення, починаючи з 1991 р. здійснюється моніторинг об'єктів навколишнього середовища та харчових продуктів. Загальна площа зон радіоактивного забруднення в Україні склала 53,45 тис. км², при цьому на землі сільськогосподарського використання з щільністю забруднення понад 37 кБк/м² припадає 1,2 млн. га. Вимагають реабілітації та повернення до господарського використання 130,6 тисяч гектарів сільськогосподарських угідь, які після аварії були виведені з господарського використання.

Незважаючи на те, що здебільшого ґрунти забруднені ¹³⁷Cs у Київській і Житомирській областях, найвищі значення паспортних доз (понад 2 мЗв) виявлені у населених пунктах Рівненської області. Це пов'язано з аномально високими коефіцієнтами переходу ¹³⁷Cs із торф'яно-болотних ґрунтів півночі Рівненської області в сільськогосподарську продукцію. Про цю особливість регіону Українсько-Білоруського Полісся було добре відомо ще до аварії. За даними О.М. Марєя (1972) у 1967–1970 рр. у результаті глобальних випадінь рівні забруднення ¹³⁷Cs молока в цьому регіоні досягали 74 Бк/л. Тому зараз саме ґрунтові розбіжності в основному визначають вплив на радіоактивне забруднення сільськогосподарської продукції. Так, продукція, вироблена на чорноземах півдня Київської області, при їхньому значному забрудненні радіоізотопами цезію (до 555 кБк/м²), відповідала всім встановленим нормативам, а в Рівненській області, при випасі великої рогатої худоби і заготівлі сіна на торфовищах, навіть із щільністю забруднення ґрунту нижчого 100 кБк/м², і зараз спостерігається перевищення допустимих рівнів вмісту ¹³⁷Cs у молоці та м'ясі в 5–15 разів. При вирощуванні картоплі й овочів на цих торф'яниках також можуть спостерігатися перевищення допустимих рівнів вмісту радіоцезію у харчових продуктах.

Протягом післяаварійного періоду радіаційна ситуація в Україні значно поліпшилася завдяки проведенню ретельного радіаційного моніторингу сільськогосподарського виробництва, угідь, продукції, її радіологічному контролю та відбракувці; здійсненню комплексу контрзаходів у галузі сільськогосподарського виробництва, спря-

мованих на зниження радіоактивного забруднення харчових продуктів для населення; природним автореабілітаційним процесам (радіоактивному розпаду, фіксації та перерозподілу радіонуклідів у ґрунті). З початку 90-х років у громадському секторі України не виробляється продукція, забруднена більше за гігієнічні державні нормативи. Останніми роками були ліквідовані колективні господарства, відбулася приватизація сільськогосподарських земель. Це призвело до значної зміни структури землекористування. Нині лише близько 20% сільськогосподарської продукції виробляється в фермерських господарствах, при цьому у північних районах Полісся – найбільш забруднених радіонуклідами майже все молоко і картопля – основні носії радіонуклідів виробляються населенням в особистих підсобних господарствах (ОПГ).

На відміну від Білорусі та Росії, в населених пунктах Українського Полісся, розташованих на ґрунтах, які відзначаються аномально високими міграційними властивостями радіоізоотопів цезію, на внутрішнє опромінення населення внаслідок споживання місцевих харчових продуктів припадає основна частина (70–95%) загальної дози опромінення населення. В особистих підсобних господарствах понині виробляється і споживається населенням сільськогосподарська продукція, що не відповідає гігієнічним державним нормативам щодо допустимих рівнів вмісту ^{137}Cs і ^{90}Sr в харчових продуктах і питній воді (ДР-2006). У 10–15 найкритичніших селах Рівненської області, в основному в Рокитнівському районі, середня питома активність ^{137}Cs у молоці корів досягає рівня 500–1000 Бк/л, тобто перевищує допустимий рівень у 5–10 оазів. У 2–3 селах Рівненської області спостерігається перевищення ^{137}Cs у картоплі й овочах. Перевищення допустимих рівнів вмісту ^{90}Sr у харчових продуктах сьогодні в Україні відзначається лише в зерні, виробленому на півночі Київської області в Іванківському районі на кордоні з зоною відчуження. Тут вміст ^{90}Sr в зерні може досягати 70 Бк/кг при нормативі для продовольчого зерна 20 Бк/кг. Найвищі рівні вмісту ^{137}Cs зараз відзначаються в лісових грибах (до 50 кБк/кг у свіжих і 200 кБк/кг – у сухих), що у 100 разів перевищує допустимі рівні, а також м'ясі диких тварин на забруднених територіях. Виходячи з

динаміки останніх років, рівні радіоактивного забруднення місцевих харчових продуктів, а, відповідно, і дози внутрішнього опромінення населення, стабілізувалися і без застосування контрзаходів будуть зменшуватися вкрай повільно. Особливо повільно буде спадати радіоактивне забруднення лісових екосистем.

У теперішній час вміст радіонуклідів у ґрунтових і поверхневих водах відповідає гігієнічним нормативам для питної води (2 Бк/л) і води для зрошення (1 Бк/л) і не становить небезпеки для населення. В 2008–2018 рр. вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs у воді р. Прип'ять був нижчим за ДР-2006 більше, ніж вдсятеро, і навіть у ставку-охолоджувачі Чорнобильської АЕС відповідав нормативу для питної води. Вміст ^{90}Sr і ^{137}Cs у ґрунтовій воді водозаборів м. Прип'ять і м. Чорнобиль нижчий за ДР-2006 більше, ніж у 100 разів. Наукові дослідження і зроблені на їхній основі прогнози показали, що міграція радіонуклідів у ріки із захоронень радіоактивних відходів у зоні відчуження також не становить небезпеки і в майбутньому не чинитиме істотного впливу на радіоактивне забруднення Дніпровського каскаду.

Починаючи з 1987 р. повсюди за межами зони відчуження рівні радіоактивного забруднення повітря відповідали і відповідають чинним гігієнічним нормативам, відповідно, забруднення повітря не становить небезпеки для населення. Проведення сільськогосподарських робіт пов'язане з антропогенним впливом на ґрунт і призводить до підвищеного пилопідйому радіоактивних речовин. Інгаляційне надходження радіонуклідів у організм механізаторів за один робочий день може перевищувати річне надходження для інших груп населення. Проте, навіть у такій ситуації, скрізь за межами зони відчуження концентрації радіонуклідів у зоні дихання механізаторів не перевищують встановлених нормативів.

Контрольні запитання до розділу 8:

- 1. Радіологічний моніторинг яких об'єктів проводить в Україні Мінприроди?*
- 2. Радіологічний моніторинг яких об'єктів проводить в Україні МНС?*

3. *Радіологічний моніторинг яких об'єктів проводить в Україні МОЗ?*
4. *Радіологічний моніторинг яких об'єктів проводить в Україні Мінагрополітики?*
5. *Радіологічний моніторинг яких об'єктів проводить в Україні Держкомлісгосп і Держводгосп?*
6. *Як відрізняються допустимі рівні вмісту радіонуклідів у харчових продуктах та питній воді в Європейському співтоваристві та Україні?*
7. *Як можна охарактеризувати сучасну радіоекологічну обстановку в Україні?*

ПІСЛЯМОВА

Україна – ядерна держава. І хоча у 1991 р. 825 ядерних боєголовок, за сумарним зарядом яких Україна займала третє місце у світі, були відправлені туди, звідки вони були привезені, вона залишилася ядерною країною. Адже Україна буквально насичена тисячами потенційно небезпечних радіаційних об'єктів, має понад дві тисячі населених пунктів із радіаційно напруженим станом. На її території діють чотири атомних електростанції (Запорізька, Південноукраїнська, Рівненська і Хмельницька) з 15-ма енергоблоками; 5 підприємств із видобутку та переробки уранових руд у Кіровоградській, Дніпропетровській та Миколаївській областях із величезними хвостосховищами – місцями складування відпрацьованої уранової руди; 6 міжобласних спеціалізованих комбінатів із переробки та зберігання радіоактивних відходів (Київський, Львівський, Донецький, Харківський, Дніпропетровський, Одеський); приблизно 8 тисяч підприємств і організацій, у тому числі наукових установ, які використовують або зберігають понад 100 тисяч джерел іонізуючого випромінювання загальною активністю близько 50 МКі.

Уся майже 80-ти річна історія розвитку ядерної енергетики показала, що найбільша радіаційна небезпека надходить від атомних енергоблоків (ядерних реакторів) АЕС. Понад 90% масштабних радіаційних аварій та інцидентів трапилось саме на АЕС. Найкрупнішими з них, котрим за міжнародною шкалою INIS (International Nuclear Energy Scale) присвоєний максимальний сьомий рівень, стали аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. і АЕС «Фукусіма-1» у 2011 р.

Унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, окрім України, Білорусі, Росії, радіонуклідного забруднення зазнали понад 20 країн західної Європи (у першу чергу Швеція, Фінляндія, Норвегія, Австрія). Радіоактивні хмари не знають кордонів. А нашу країну з

усіх боків оточують десятки АЕС країн західної і східної Європи, на котрих задіяні майже 200 енергоблоків.

Саме тому проведення постійної оцінки радіаційної обстановки у реальному масштабі часу на території країни, у першу чергу в місцях розташування радіаційно небезпечних об'єктів, із метою прогнозування можливого виникнення і розвитку надзвичайних ситуацій є важливим завданням, що стоїть перед суспільством. Це потребує проведення систематичного моніторингу радіаційного стану навколишнього середовища з метою оперативного отримання всебічної інформації про ситуацію у різних його сферах – атмосфері, літосфері, гідросфері, рослинах, тваринах.

Натепер в Україні створена і діє мережа радіоекологічного моніторингу, яка контролює радіаційну ситуацію в окремих сферах, у тому числі й агросфері. Систематично проводиться збір інформації та її ретельний аналіз про радіаційний стан у регіонах, що підпали під високий рівень радіонуклідного забруднення, в окремих галузях виробництва, триває вивчення закономірностей міграції в об'єктах навколишнього середовища, контролюється їхнє надходження й накопичення в продукції сільського господарства, харчових продуктах. На основі цих даних із використанням методів математичного моделювання та інших створюються прогнози можливих рівнів радіонуклідного забруднення об'єктів довкілля, формування очікуваних доз опромінення біоти. Радіоекологічний моніторинг є важливим елементом комплексної системи забезпечення безпеки населення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Айхімов А.І. Екологічний моніторинг: навчальний посібник. – Харків: вид-во ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2005. – 120 с.
2. Бетенеков Н.Д. Радиоэкологический мониторинг: учебное пособие. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2014. – 208 с.
3. Буравльов Є.П. Системологія: моніторинг і вектор розвитку. – К.: Ін-т пробл. нац. безпеки, 2008. – 260 с.
4. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 158 с.
5. Величко О.М., Гало М., Дубич І.І., Шпеник Ю.О. Основи екології та моніторингу довкілля: навчальний посібник. – Ужгород: УжНУ, 2001. – 285 с.
6. Величко О.М., Зеркалов Д.В. Екологічний моніторинг: навчальний посібник. – К.: Наук. світ, 2001. – 250 с.
7. Гайченко В.А., Гудков І.М., Кашпаров В.О., Кіцно В.О., Лазарев М.М., Практикум з радіобіології та радіоекології. – К.: Кондор, 2010. – 286 с.; 2-е видання. – Херсон: Олді-Плюс, 2014. – 278 с.
8. Гелашвили Д.Б. Экологический мониторинг. Методы биологического и физико-химического мониторинга: Учебное пособие. – К.: 2000. – 347 с.
9. Герасимов И.П. Научные основы современного мониторинга окружающей среды. – М.: Надра, 1991. – 424 с.
10. Гудков І.М. Радіобіологія: підручник. – Херсон: Олді-Плюс, 2016. – 504 с.
11. Гудков І.М., Гайченко В.А., Кашпаров В.О., Кутлахмедов Ю.О., Гудков Д.І., Лазарев М.М. Радіоекологія. – К.: НАУБіП України. – 2011. – 368 с.; 2-е видання. – Херсон: Олді-Плюс, 2013. – 467 с.
12. Дуднікова І.І., Пушкін С.П. Моніторинг довкілля. Ч. 2. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2007. – 313 с.

13. Егоров Ю.А., Казаков С.В. Радиационный экологический мониторинг в районе АЭС. Радиационная безопасность АЭС. Под ред. Ю.А. Егорова. М.: Энергоатомиздат, 1985, вып. 9. – С. 59-69.
14. Израэль Ю.А. Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка окружающей природной среды. Основы мониторинга // Метеорология и гидрология. – 1974. – № 7. – С. 3-8.
15. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 560 с.
16. Израэль Ю.А. Основные принципы мониторинга окружающей природной среды и климата. Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. Труды 11 Межд. симп. Л.: Гидрометеиздат, 1982. – С. 5-14.
17. Израэль Ю.А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. – С.-Пб: Прогресс-погода, 1996. – 356 с.
18. Клименко М.О., Прищепа А.М., Вознюк Н.М. Моніторинг довкілля: підручник. К.: Вид-во центр «Академія», 2006. – 360 с.
19. Криволицкий Д.А. Биомониторинг и биоиндикация. – М.: Мир, 1995.
20. Кубланов С.Х., Шпаківський Р.В. Моніторинг довкілля: навчально-методичний посібник. – К.: ДІПКПК МКУ, 1998. – 92 с.
21. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Итоги. Задачи. – Харьков: КП «Городская типография», 2012. – 536 с.
22. Моніторинг довкілля: підручник / Боголюбов В.М., Клименко М.О., Мокін В.Б. та ін.; за ред. В.М. Боголюбова і Т.А. Сафранова. – Херсон: Гринь Д.С., 2013. – 530 с.
23. Перепелятников Г.П. Основы общей радиоэкологии. – К.: Атіка, 2008. – 460 с.
24. Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. Радиоактивность окружающей среды. Теория и практика. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний., 2006. – 286 с.
25. Экологический мониторинг: учебно-методическое пособие. / Под ред. Т.Я. Ашихминой. – М.: Академпроект, 2006. – 416 с.

26. Munn R.E. Global environmental monitoring system (GEMS). – Toronto, Canada: Scope Report, 1973. – 130 p.
27. СОУ 74.14-37-425:2006 «Якість ґрунту. Методи відбору проб ґрунту для радіаційного контролю». – К.: Міністерство аграрної політики України, 2006. – 15 с.
28. СОУ 01.1-37-426:2006 «Якість продукції рослинництва. Методи відбору проб для радіаційного контролю». – К.: Міністерство аграрної політики України, 2006. – 19 с.

Навчальне видання

І.М. Гудков, В.О. Кашпаров, О.Ю. Паренюк

РАДІОЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ

Навчальний посібник

Українською мовою

Верстка – І.І. Стратій

Підписано до друку **19.01.2018** р. Формат 60х84/16.
Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman. Цифровий друк.
Умовно-друк. арк. 10,93. Тираж **300**. Замовлення № **1408-54**.
Віддруковано з готового оригінал-макета.

Видавництво та друк: «ОЛДІ-ПЛЮС»
73034, м. Херсон, вул. Паровозна, 46-а
E-mail: office@oldiplus.com
Свід. ДК No 6532 від 13.12.2018 р.