

ПЕРЕДМОВА

В більшості вищих навчальних закладів природничого спрямування радіобіологія як окрема дисципліна була введена наприкінці п'ятдесятих років минулого століття в період масових випробувань атомної зброї і зростання на всій планеті радіаційного фону. Одними з перших, котрі ввели цю дисципліну під різними назвами, були вищі аграрного профілю. Вже тоді було зрозуміло, що головною сферою, яка найбільш страждатиме від радіоактивних речовин і стане відповідальною за формування дози опромінення населення за рахунок споживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування, це аграрна сфера. Радіобіологія була введена на факультетах агрохімії та ґрунтознавства і на ветеринарних факультетах. Вважалося, що агрохіміки забезпечать радіологічний супровід рослинництва, а ветеринарні лікарі – тваринництва. В обласних і районних агрохімічних і ветеринарних лабораторіях були організовані радіологічні підрозділи, вони були оснащені елементарною дозиметричною і радіометричною апаратурою. І хоча аварія на Чорнобильській АЕС, яка трапилась 26 квітня 1986 р. фактично застала зненацька радіобіологічні, радіоекологічні, радіологічні служби всіх рівнів, слід визнати певну далекоглядність органів освіти і науки щодо введення нової дисципліни. Під час гострого періоду розвитку аварії в останні дні квітня–перші тижні травня 1986 р. саме спеціалісти ветеринарної медицини, озброєні основами знань в галузі радіобіології, очолили загони рятівників сільськогосподарських тварин в зоні радіаційної небезпеки навколо станції. З великим ризиком для власного здоров'я вони забезпечували виведення і вивезення десятків тисяч голів худоби із зони евакуації населення, оцінку їх клінічного стану, сортування, вирішення подальшої участі забруднених радіоактивними речовинами і опромінених тварин. Саме працівники агрохімічних служб разом з працівниками органів внутрішніх справ, з військовими, оснащені «бойовими» дозиметрами ДП-5, у числі перших встали на пунктах

контролю за рівнями радіоактивного забруднення майна, сільськогосподарської продукції, продуктів харчування, техніки, автотранспорту, забезпечуючи обмеження розповзання по країні радіоактивної чорнобильської плями.

Не все у ті драматичні дні, коли на прийняття радикальних рішень відводилися години, було зроблено як слід, не всі проведені заходи були виправдані. Проте переоцінити роль працівників радіологічних служб у захисті сільськогосподарської сфери країни у тій несподіваній, надзвичайно складній і вкрай небезпечній ситуації неможливо.

У перші роки після аварії на Чорнобильській АЕС перелік спеціальностей у вищих навчальних закладах, де були введені радіологічні дисципліни, значно зріс. І це було цілком виправдано. Країні були потрібні спеціалісти для вивчення біологічних, медичних, екологічних, соціальних, демографічних наслідків катастрофи з метою їх мінімізації у різних сферах господарювання, і в першу чергу в сільському господарстві; фахівці з отримання продуктів харчування з мінімальним вмістом радіонуклідів; лікарі із знанням основ не тільки медичної радіології, але і із знаннями медичної радіобіології, ядерної медицини не тільки з метою лікування опромінених у гострий період аварії тисяч ліквідаторів, а й з метою зменшення негативного впливу хронічного опромінення у малих дозах мільйонних контингентів населення, що опинилися на забруднених радіоактивними речовинами територіях.

Україна – ядерна держава. І хоча у свій час країна недалекоглядно позбавилися ядерної зброї, за потенціалом якої посідала третє місце у світі, вона залишається ядерною державою. Адже в Україні працюють чотири атомних електростанції, на котрих задіяні 15 ядерних реакторів, низка підприємств по їх обслуговуванню. За запасами урану Україна займає перше місце в Європі. І хоча радіаційна обстановка за три десятиліття після аварії значно покращилася як за рахунок процесів автореабілітації, так і цілеспрямованих контрзаходів, вона ще далека до доаварійної.

В усьому світі зростає кількість технологій, які використовують іонізуючу радіацію, а разом з тим кількість джерел випромінювань, що підвищує імовірність їх виходу з під контролю. З'явилися ознаки загрози ядерного тероризму, прояви ядерного шантажу з боку деяких країн. Аварія на АЕС «Фукусіма» у Японії в 2011 р. показала, що великомасштабні аварії на підприємствах ядерної енергетики, подібні Чорнобильській, не випадковість. А Україна знаходиться в оточенні понад 160 діючих ядерних енергоблоків атомних електростанцій країн західної і східної Європи, можливість аварій на яких хоча і зведена до мінімуму, але не виключена повністю. І спеціалісти різних напрямів мають знати особливості біологічної дії іонізуючих випромінювань на живий організм, елементарні відомості захисту від неї. Саме тому радіологічні дисципліни мають бути в ряду обов'язкових дисциплін вищих навчальних закладів.

Проте в останні роки спостерігається тенденція до скорочення курсів радіобіології, радіоекології, радіаційної безпеки у деяких університетах, на деяких факультетах. Зменшується кількість годин, що відводиться на дисципліни, екзамен замінюється заліком, з планів виводиться виконання курсових робіт, навчальна практика, зрештою, дисципліни взагалі виключаються з навчального плану. Таке відношення до неї нічим не виправдане. Хіба можна забути, що Україна пережила невидану в світі радіаційну катастрофу. В країні немає клаптика суші, водойми, де б не були виявлені чорнобильські радіонукліди ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{239}Pu , ^{241}Am та деякі інші. Все це штучні радіоактивні ізотопи, яких в природі немає. Вони з'явилися у навколишньому середовищі з вибухами перших атомних бомб у 1945 р. Аварія на Чорнобильській АЕС збільшила їх кількість у багато разів. Біота не встигла пристосуватися, адаптуватися до них. А чи зможе? А якщо зможе то коли? Як взагалі діють малі дози хронічного опромінення іонізуючою радіацією, під тиском яких опинилися мільйони людей, на організм? Як вони вплинули на імунітет проти хвороб, наскільки небезпечні вони у канцерогенному відношенні, чи не викличуть генетичних змін у наступних поколіннях?

Цей підручник підготовлений радіобіологом-професіоналом, який прийшов в радіобіологію у грізні 60-і роки минулого століття у розпал холодної війни, коли імовірність ядерного конфлікту вважалась цілком реальною. Пропрацювавши все життя в галузі мирного використання іонізуючої радіації, ніколи не забував про підступність цього чинника навколишнього середовища, розробляючи заходи протирадіаційного захисту. Дати відповідь на всі ці запитання підручник не зможе. Проте багато в чому він може підготувати читача, не тільки студента, до зустрічі з цим нашим невидимим сучасником. А зустріч ця неминуча. Вона починається у дверей рентгенівського кабінету... Втім, раніше – з радіаційним фоном, екранами телевізорів і дисплеями комп'ютерів, деякими іншими побутовими приладами. Вона буде тривати при зустрічі з новітніми радіаційними технологіями в медицині і фармакології, сільському господарстві і харчовій промисловості, геології і археології... Важко назвати сучасну сферу діяльності людини, де б не використовувалися іонізуючі випромінювання і радіоактивні ізотопи. І, не дай бог, такої зустрічі, як у квітні 1986 р.

Тому даний підручник може бути корисним не тільки для студентів – майбутніх спеціалістів різних напрямів, а особливо для екологів, спеціалістів аграрної сфери, для яких він саме і призначений, а й для читачів різних напрямів підготовки та інтересів, об'єднаних однією долею – проживанням і діяльністю на забруднених радіонуклідами територіях; однією тривогою – турботою за наслідки аварії для здоров'я свого, своїх близьких, потомків. Кожний житель України має пам'ятати, що це – наш сучасний спосіб життя, життя в умовах підвищеного радіаційного тиску. І мета цієї книги – дати як майбутнім спеціалістам різних напрямів, так і всім зацікавленим читачам основи знань, які дозволять не погіршити якість цього життя.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
1. ВСТУП. РАДІОБІОЛОГІЯ ТА РАДІОЕКОЛОГІЯ ЯК СУЦІЛЬНА НАУКА	7
1.1. Визначення радіобіології та радіоекології, їх місце серед суміжних наук.....	8
1.2. Напрями розвитку радіобіології та її задачі.....	9
1.3. Історія радіобіології.....	11
1.3.1. Три відкриття в галузі фізики, що передували виникненню радіобіології.....	11
1.3.2. Етапи розвитку радіобіології.....	17
1.4. Сучасні проблеми радіобіології	34
1.5. Необхідність широкої пропаганди радіобіологічних знань	39
2. РАДІОАКТИВНІСТЬ, ТИПИ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ЇХ ДОЗИМЕТРІЯ	42
2.1. Будова атому. Ізотопи	44
2.2. Явище радіоактивності. Закон радіоактивного розпаду	47
2.3. Типи іонізуючих випромінювань.....	50
2.3.1. Електромагнітне іонізуюче випромінювання	50
2.3.2. Корпускулярне іонізуюче випромінювання	52
2.4. Типи ядерних перетворень	54
2.5. Радіометрія і дозиметрія іонізуючих випромінювань. Одиниці радіоактивності і доз.....	57
2.6. Зв'язок між радіоактивністю та дозою іонізуючого випромінювання	63
2.7. Види опромінення	65
3. ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА ЗЕМЛІ	68
3.1. Космічне випромінювання.....	68
3.2. Випромінювання радіонуклідів.....	71
3.2.1. Випромінювання природних радіонуклідів.....	73
3.2.2. Випромінювання штучних радіонуклідів	81
3.3. Радіаційні аварії	90
3.4. Генератори іонізуючих випромінювань.....	94
3.5. Внесок різних джерел іонізуючих випромінювань у формування дози опромінення людини	96
4. ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ІЗ РЕЧОВИНАМИ КЛІТИН ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ ...	99
4.1. Взаємодія електромагнітних випромінювань із речовиною	100
4.2. Взаємодія корпускулярних випромінювань з речовиною	102

4.3. Лінійна передача енергії іонізуючих випромінювань атомам і молекулам речовини та їх відносна біологічна ефективність	105
4.4. Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань	108
4.5. Дія іонізуючого випромінювання на основні молекулярні компоненти клітини і процеси метаболізму.....	111
4.5.1. Дія випромінювання на нуклеїнові кислоти.....	112
4.5.2. Радіаційно-хімічні зміни білків, амінокислот і вуглеводнів.....	116
4.5.3. Дія випромінювань на білково-ліпідні мембрани.....	118
4.5.4. Дія випромінювання на деякі фізіолого-біохімічні процеси рослин	120
5. БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ	
У РОСЛИН І ТВАРИН	123
5.1. Класифікація радіобіологічних ефектів	123
5.1.1. Радіаційна стимуляція.....	124
5.1.2. Морфологічні зміни	130
5.1.3. Променева хвороба.....	137
5.1.4. Прискорення старіння і скорочення тривалості життя	145
5.1.5. Загибель	147
5.1.6. Генетичні ефекти.....	150
5.1.7. Близькі та віддалені, детерміновані та стохастичні радіобіологічні ефекти	153
5.2. Біологічні ефекти радіоміметиків	155
6. РАДІОЧУТЛИВІСТЬ РОСЛИН, ТВАРИН ТА ІНШИХ ОРГАНІЗМІВ	158
6.1. Радіочутливість та радіостійкість	158
6.2. Порівняльна радіочутливість організмів	161
6.2.1. Радіочутливість рослин.....	162
6.2.2. Радіочутливість тварин.....	168
6.2.3. Радіочутливість бактерій і вірусів	172
6.2.4. Радіочутливість біоценозів	172
6.3. Причини широкої варіабельності радіочутливості організмів	177
6.4. Порівняльна радіочутливість клітин на різних фазах розвитку	183
6.5. Критичні органи	187
6.6. Особливості дії на живі організми малих доз іонізуючих випромінювань. 189	
7. ПРОТИРАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ І РАДІОСЕНСИБІЛІЗАЦІЯ	196
7.1. Протирадіаційний біологічний захист і радіосенсибілізація.....	197
7.1.1. Фізичні радіозахисні та радіосенсибілізуючі фактори.....	198
7.1.2. Хімічні радіозахисні речовини і радіосенсибілізатори	203
7.1.3. Класифікація радіопротекторів та механізми їх дії	204
7.1.4. Радіопротектори пролонгованої дії	213
7.1.5. Радіоблокатори і радіодекорпоранти	214
7.1.6. Радіосенсибілізатори.....	215

7.2. Захист навколишнього середовища від радіонуклідного забруднення	217
7.2.1. Захист ґрунтів від радіонуклідного забруднення	218
7.2.2. Захист водойм від надходження радіонуклідів	226
7.2.3. Захист рослин і тварин від надходження радіонуклідів	227
7.2.4. Захист лісу і роль лісу у захисті навколишнього середовища від радіонуклідного забруднення	228
7.2.5. Особливості мінімізації надходження і накопичення радіонуклідів в організмі людини	231
8. ПІСЛЯРАДІАЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ РОСЛИН І ТВАРИН	239
8.1. Класифікація видів післярадіаційного відновлення	239
8.2. Репараційне відновлення	240
8.3. Репопуляційне відновлення	246
8.4. Регенераційне відновлення	250
8.5. Компенсаторне відновлення	253
8.6. Управління процесами післярадіаційного відновлення	256
8.7. Радіоадаптація	258
9. АТМОСФЕРА, ҐРУНТ І ВОДОЙМИ ЯК ВИХІДНІ ЛАНКИ МІГРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДІВ У ПРИРОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ	261
9.1. Загальні закономірності міграції радіонуклідів у природному середовищі	262
9.2. Міграція радіонуклідів в атмосфері	268
9.3. Міграція радіонуклідів в ґрунті	270
9.4. Міграція радіонуклідів у водоймах	280
10. НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ В РОСЛИНИ ТА ОРГАНІЗМ ТВАРИН. ІНКОРПОРОВАНІ РАДІОНУКЛІДИ	290
10.1. Надходження радіонуклідів в рослини	290
10.1.1. Позакореневе надходження	291
10.1.2. Кореневе надходження	295
10.1.3. Особливості поведінки радіонуклідів в лісових біоценозах	299
10.2. Надходження радіонуклідів до організму тварин	301
10.3. Особливості біологічної дії інкорпорованих радіонуклідів	308
10.3.1. Дія інкорпорованих радіонуклідів на рослини	311
10.3.2. Дія інкорпорованих радіонуклідів на організм тварин	317
10.3.3. Небезпека інкорпорування гарячих частинок	321
10.3.4. Принципи дозиметрії випромінювань інкорпорованих радіонуклідів ...	323
10.4. Прогнозування надходження радіонуклідів в сільськогосподарські рослини і організм сільськогосподарських тварин	327

11. ЗАХОДИ ІЗ ЗМЕНШЕННЯ ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДІВ В ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА І ТВАРИННИЦТВА	336
11.1. Основні принципи організації ведення сільського господарства на забруднених радіонуклідами територіях	337
11.2. Засоби зменшення переходу радіонуклідів з ґрунту в сільськогосподарські рослини.....	338
11.2.1. Обробіток ґрунту	339
11.2.2. Застосування хімічних меліорантів і добрив.....	342
11.2.3. Зміна складу рослин у сівозміні.....	348
11.2.4. Зміна режиму зрошення.....	351
11.2.5. Застосування спеціальних речовин та прийомів.....	353
11.3. Основні прийоми зменшення переходу радіонуклідів в продукцію тваринництва.....	355
11.3.1. Покращення кормової бази	356
11.3.2. Зміна раціонів	358
11.3.3. Включення до раціонів добавок і препаратів, що перешкоджають переходу радіонуклідів в продукцію.....	361
11.3.4. Організаційні заходи	364
11.4. Очищення сільськогосподарської продукції від радіонуклідів.....	366
11.4.1. Очищення продукції рослинництва.....	367
11.4.2. Очищення продукції тваринництва.....	369
12. ВИКОРИСТАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У БІОЛОГО-ПРИРОДНИЧИХ СФЕРАХ ДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ	378
12.1. Опромінювальна техніка, що використовується в радіаційно-біологічних технологіях.....	379
12.2. Використання іонізуючих випромінювань в сільському господарстві	381
12.2.1. Радіаційно-біологічні технології в рослинництві	381
12.2.2. Радіаційно-біологічні технології в тваринництві.....	398
12.3. Використання іонізуючих випромінювань в харчовій промисловості	402
12.4. Використання іонізуючих випромінювань в медицині	405
12.4.1. Застосування іонізуючих випромінювань у діагностиці захворювань....	406
12.4.2. Застосування іонізуючих випромінювань у лікуванні хвороб	409
12.4.3. Радіаційна стерилізація матеріалів і інструментів в медицині.....	412
12.4.4. Застосування іонізуючих випромінювань при трансплантації органів і тканин	414
13. МЕТОД ІЗОТОПНИХ ІНДИКАТОРІВ В БІОЛОГІЇ ТА ЕКОЛОГІЇ	416
13.1. Мічені атоми	416
13.2. Радіоактивні і стабільні ізотопи.....	419
13.3. Мічені сполуки	421
13.4. Індикаторна доза.....	424

13.5. Основні шляхи застосування ізотопних індикаторів у дослідженнях з рослинами	425
13.5.1. Дослідження транспорту та розподілу в рослині окремих елементів	426
13.5.2. Вивчення ролі певних речовин у метаболізмі рослин	429
13.6. Особливості використання радіоактивних ізотопів у вегетаційних і польових дослідженнях	432
13.7. Радіоавтографія	435
13.7.1. Макрорадіоавтографія	437
13.7.2. Мікрорадіоавтографія	439
13.8. Особливості застосування стабільних ізотопів	441
14. БІОЛОГІЧНЕ НОРМУВАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ТА ОСНОВИ РАДІАЦІЙНОЇ ГІГІЄНИ	446
14.1. Концепція безпорогової дії іонізуючих випромінювань на живі організми та основні принципи біологічного нормування	447
14.2. Поняття допустимого (прийнятного) ризику	450
14.3. Категорії осіб, що опромінюються, та їх регламентація	452
14.4. Допустимі рівні та тимчасово допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування	455
14.5. Населення в умовах радіаційних аварій	457
14.6. Радіаційно-гігієнічні регламенти	460
14.7. Групи радіотоксичності радіоактивних ізотопів	461
14.8. Принципи захисту від закритих та відкритих джерел іонізуючих випромінювань	462
14.9. Нормування вмісту радіонуклідів в сільськогосподарській продукції	468
14.10. Основні документи регламентації норм радіаційної безпеки	472
ПІСЛЯМОВА	476
ДОДАТКОВА ЛІТЕРАТУРА	478
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЗЧИК	479
АВТОРСЬКИЙ ПОКАЗЧИК	495
ЗМІСТ	499