

**Міністерство освіти і науки України
Уманський національний університет садівництва
Кафедра мікробіології, біохімії і фізіології рослин
Кафедра екології та безпеки життєдіяльності**

***ЗАБОЛОТНИЙ О.І.
БАЛАБАК А.В.***

РАДІОБІОЛОГІЯ І РАДІОЕКОЛОГІЯ

Опорний конспект лекцій

Підготовлено:

к.с.-г.н., доцентом кафедри мікробіології, біохімії і фізіології рослин
О. І. Заболотним;

к.с.-г.н., доцентом кафедри екології та безпеки життєдіяльності А. В. Балабак.

Розглянуто і рекомендовано до видання навчально-методичним семінаром кафедри мікробіології, біохімії і фізіології рослин Уманського НУС (протокол №1 від 10.10.2016 р).

Розглянуто і рекомендовано до видання кафедрою мікробіології, біохімії і фізіології рослин Уманського НУС (протокол №6 від 27.10.2016 р).

	Вступ	4
Тема №1	Радіобіологія як наука. Історія розвитку радіобіології. Фізичні основи радіобіології	6
Тема №2	Норми радіаційної безпеки. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту	12
Тема №3	Біологічна дія іонізуючих випромінювань. Виведення радіонуклідів з організму людини	23
Тема №4	Радіоекологія. Природні і штучні джерела опромінення	37
Тема №5	Поводження з радіоактивними відходами	39
Тема №6	Надходження радіонуклідів у сільськогосподарські рослини та організм сільськогосподарських тварин	41
Тема №7	Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіоактивними речовинами територіях	44
Тема №8	Використання іонізуючих випромінювань у сільському господарстві	46
	Список рекомендованої літератури	50

ВСТУП

Метою викладання дисципліни «Радіобіології і радіоекології» є вивчення закономірностей біологічної дії іонізуючих випромінювань на живий організм, навчитись керувати його відповідними реакціями на цей фактор. Забезпечити студентам сукупність знань в досягненнях ядерної фізики та атомної енергетики у лісовому і сільськогосподарському виробництві, а також для ведення лісового і сільського господарства і отримання продукції рослинництва і тваринництва в екстремальних умовах, пов'язаних із радіоактивним забрудненням навколишнього середовища.

Основні завдання радіобіології і радіоекології — вивчення чутливості рослин і тварин до іонізуючих випромінювань; розробка способів захисту їх від радіаційного ураження; дослідження шляхів міграції і біологічної дії інкорпорованих рослинами і тваринами радіоактивних речовин; пошук шляхів використання іонізуючих випромінювань у лісовому і сільськогосподарському виробництві. Вона передбачає також коротке висвітлення деяких питань радіобіології тваринного світу, які певною мірою пов'язані з радіологією рослин, а також тих питань, значення яких потрібні кожному спеціалісту лісового і сільського господарства.

Програма вивчення курсу радіобіології розрахована на агрономічні і агротехнічні спеціальності і включає деякі основні розділи загальної радіобіології і тієї частини лісової і сільськогосподарської радіобіології, об'єктом якої є рослинництво.

Як результат вивчення радіобіології і радіоекології студент повинен знати:

- джерела іонізуючих випромінювань у навколишньому середовищі;
- механізми дії випромінювань на живі організми;
- радіочутливість основних видів рослин та тварин;
- принципи захисту живих організмів від випромінювань;
- шляхи надходження радіоактивних речовин у рослини і організм тварин;
- способи запобігання надходженню і накопиченню радіоактивних речовин у продукцію рослинництва і тваринництва;
- методологію і технологію ведення рослинництва на забруднених радіоактивними речовинами територіях.

Повинен вміти:

- оцінювати радіаційні умови і проводити радіометричну експертизу об'єктів навколишнього середовища;
- прогнозувати рівень можливого вмісту окремих радіонуклідів у рослин під час їх вирощування на забруднених територіях;
- уміти використовувати досягнення ядерної фізики і атомної енергетики у рослинництві;
- уміти розробляти способи захисту агрофітоценозів від ураження радіоактивного випромінювання та ін.

Опорний конспект лекцій висвітлює основні питання дисципліни «Радіобіологія і радіоекологія» за темами:

1. Радіобіологія як наука. Історія розвитку радіобіології. Фізичні основи радіобіології
2. Норми радіаційної безпеки. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту
3. Біологічна дія іонізуючих випромінювань. Виведення радіонуклідів з організму людини
4. Радіоекологія. Природні і штучні джерела опромінення
5. Поводження з радіоактивними відходами
6. Надходження радіонуклідів у сільськогосподарські рослини та організм сільськогосподарських тварин
7. Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіоактивними речовинами територіях
8. Використання іонізуючих випромінювань у сільському господарстві

Для глибокого засвоєння навчальної дисципліни студенту потрібно, окрім опорного конспекту лекцій, використовувати інші початкові матеріали, подані у списку рекомендованої літератури.

ТЕМА № 1
РАДІОБІОЛОГІЯ ЯК НАУКА.
ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ РАДІОБІОЛОГІЇ

План

1. *Радіобіологія як наука*
2. *Етапи розвитку радіобіології*
 - ✓ *Перший етап*
 - ✓ *Другий етап*
 - ✓ *Третій етап*
 - ✓ *Четвертий етап*

1. РАДІОБІОЛОГІЯ ЯК НАУКА

Радіобіологія, або радіаційна біологія — це наука про дію іонізуючих випромінень на живі організми та їх угруповання.

Основним завданням радіобіології є вивчення закономірностей дії іоні-зуючих випромінень на живий організм з метою пошуку можливостей щодо керування його реакціями на цей фактор.

Об'єктами радіобіології є рослини і тварини, а також утворені ними біоценози. Дослідження міграції радіоактивних речовин в об'єктах сільського та лісового господарства з метою мінімізації їх накопичення в продукції рослинництва, тваринництва і лісівництва є основою окремого напрямку радіобіології — радіоекології, або радіаційної екології.

Основна мета вивчення дисципліни «Радіобіологія» в аграрному навчальному закладі є оволодіння теоретичними основами про дію іонізуючих випромінень на живі організми, формування практичних навичок з оцінки радіаційної ситуації й розробки практичних заходів щодо ведення сільського і лісового господарства на забруднених радіоактивними речовинами угіддях.

Як результат вивчення радіобіології студент повинен *знати*: джерела іонізуючих випромінень у навколишньому середовищі, механізми дії випромінень на живі організми, радіочутливість основних видів сільськогосподарських і лісогосподарських рослин, тварин, принципи захисту живих організмів від випромінень, шляхи надходження радіоактивних речовин у рослини, організми тварин та людини, прийоми запобігання надходження і накопичення радіоактивних речовин у продукції рослинництва й тваринництва, методологію і технологію ведення окремих галузей сільськогосподарського та лісогосподарського виробництва на забруднених радіоактивними речовинами територіях; *уміти*: оцінювати радіаційну обстановку за допомогою дозиметричних приладів різних систем, проводити радіометричну експертизу об'єктів навколишнього середовища та сільськогосподарського виробництва, прогнозувати рівень можливого вмісту окремих радіонуклідів у рослинах при їх вирощуванні на забруднених угіддях, розробляти прийоми попередження надходження та накопичення

радіонуклідів у продукції рослинництва, кормовиробництва, тваринництва, лісового господарства тощо.

Все живе на нашій планеті виникло, розвивалось й існує в умовах, іноді далеких від сприятливих. На живі організми діють перепади температур, атмосферні опади, рух повітря, зміни атмосферного тиску, чергування дня і ночі та інші фактори. Серед них особливе місце займає іонізуюча радіація, що утворюється за рахунок 25 природних радіоактивних елементів, таких як **уран, радій, радон, торій та ін.** Джерелом радіонуклідів є також Сонце та зірки Галактики. Це два джерела іонізуючого опромінення всього живого й неживого.

Рентгенівське або γ -випромінення являє собою електромагнітні хвилі з високою частотою і надзвичайно великою енергією. Всі види іонізуючого випромінення зумовлюють іонізацію та ушкодження опромінюваних об'єктів.

Вважається, що все живе на Землі пристосувалось до дії іонізуючих випромінень і не реагує на них. Існує навіть гіпотеза, що природна радіація є рушієм еволюції, завдяки якому виникла така велика кількість видів, найрізноманітніших за формою та способом життя живих організмів, оскільки спадкові потворстваєне що інше, як виникнення нових ознак організму, які можуть призвести до появи зовсім нового виду.

Протягом 18–19 ст., а особливо нині, природний радіаційний фон на Землі підвищився і продовжує збільшуватись. Причиною є прогресуюча індустріалізація всіх розвинутих країн, внаслідок якої при збільшенні добування металевих руд, вугілля, нафти, будівельних матеріалів, добрив та інших корисних копалин на її поверхню стали виймати у великих кількостях різні мінерали, що містять природні радіоактивні елементи. При спалюванні мінеральних джерел енергії, особливо таких як вугілля, торф, горючі сланці, її атмосферу потрапляє багато різних речовин, в тому числі й радіоактивних.

В середині 20 ст. почали створюватися штучні джерела іонізуючих випромінювань. Початок їм поклало створення атомної бомби у США, а потім і в інших країнах, а також розвиток атомної енергетики. Під час атомних вибухів, роботи підприємств атомної енергетики, особливо при радіаційних аваріях, у навколишнє середовище можуть потрапляти великі кількості природних та штучних радіоактивних речовин. Це призводить до підвищення радіаційного фону, появи окремих осередків та великих територій з високим рівнем радіоактивності.

Своїм виникненням як самостійної науки радіобіологія зобов'язана трьом великим відкриттям у галузі фізики:

- в **1895 р.** німецьким фізиком **В. К. Рентгеном** X-променів, названих пізніше його ім'ям;
- в **1896 р.** французьким фізиком **А. А. Бекерелем** природної радіоактивності
- у **1898 р.** французькими фізиками, подружжям **М. Склодовською-**

Кюрі і П. Кюрі радіоактивних властивостей полонію та радію.

Всі вони були удостоєні Нобелівської премії — однієї з найпочесніших нагород світу за досягнення в галузі науки.

Відкриття рентгенівських променів привернуло увагу вчених-природознавців усього світу. Цікавився ними й професор фізики Паризького музею історії природи **А. А. Бекерель**. Він відкрив, що мимовільно уран випромінює невидимі промені. Це було відкриття природної радіоактивності.

Вивчення цього явища стало предметом досліджень і подружжя Кюрі. В липні **1898 р.** вони відкрили властивість радіоактивності зовсім нового елемента, першого, виявленого саме за властивостями радіоактивності і названого полонієм на честь батьківщини **М. Склодовської-Кюрі** — Польщі, а в грудні того ж року також у нового елемента, названого радієм (від латинського слова радіус — промінь).

2. ЕТАПИ РОЗВИТКУ РАДІОБІОЛОГІЇ І РАДІОЕКОЛОГІЇ.

Перший етап (1895-1920). Про біологічну дію іонізуючих випромінень стало відомо майже відразу після їх виявлення. Вони були шкідливими для здоров'я тих, хто працював з рентгенівськими апаратами та радіоактивними речовинами. Однією з перших жертв випромінювання став сам **А.А. Беккерель**.

Від променевої хвороби померла **М. Склодовська-Кюрі** і її дочка **І. Кюрі** та її чоловік **Ф. Жоліо-Кюрі** — визначні французькі фізики, що відкрили у 1934 р. явище штучної радіоактивності елементів, за що також були вшановані Нобелівською премією. Лише рання загибель **П. Кюрі** внаслідок катастрофи позбавила його тієї ж долі. Незважаючи на заходи щодо безпеки роботи з радіоактивними речовинами та випроміненнями, до 80-х років вже було відомо близько 500 дослідників, що загинули від іонізуючої радіації.

Перші наукові дослідження щодо впливу іонізуючого випромінення на живі організми були проведені практично відразу після відкриття рентгенівських променів та явища радіоактивності. Серед найперших випробувачів — відомий російський фізіолог **І.Р. Тарханов**, який вже в **1896 р.**, будучи доцентом Петербурзького університету, показав уражуючу властивість рентгенівських променів при опроміненні комах і жаб.

Глибokie дослідження щодо дії рентгенівських променів та променів радію на рослини і тварин провів видатний російський фізіолог і біохімік **Ю.С. Лондон**. Він вперше описав гальмування росту рослин під впливом дії цих променів та смертельну дію на мишей. Його книга «**Радій в біології та медицині**», опублікована в **1911 р.**, є першою у світі працею з радіобіології.

Наприкінці 19 і в перші два десятиріччя 20 століття було відкрито багато різноманітних **ефектів іонізуючих випромінень**. Зокрема, описано явище **радіаційної стимуляції рослин**, яка полягає в тому, що на відміну від високих доз радіації, які гальмують ріст і розвиток живих організмів, малі дози можуть, навпаки, прискорювати ці процеси. Виявлено також порушення

поділу клітин при опроміненні, гальмування окремих процесів обміну речовин. За цей час було встановлено багато фактів, які підтвердили дію рентгенівського випромінення та випромінень радіоактивних елементів на різні біологічні об'єкти. Радіобіології, як самостійної науки, ще не існувало. Для її становлення не було головного — теорії, яка б пояснювала природу дії радіації на організм. Потреба, в такій теорії була цілком очевидною. Нагально потребував пояснення так званий «радіобіологічний парадокс» — явище, що полягає у великій невідповідності між дуже малою величиною поглинутої при опроміненні енергії іонізуючого випромінення та ступенем прояву реакцій біологічного об'єкта, що нерідко призводить до його загибелі.

Другий етап. 20-30-ті роки 20 ст. відомі низкою великих винаходів та нових ідей, які прискорили становлення радіобіології як науки. Було сформульовано теорію «мішені», згідно з якою не всі частини живої клітини однаково ушкоджуються випроміненням. У ній є особливо чутливі об'єми «мішені», ураження яких призводить до ушкодження всього об'єкта. Нині доведено, що такою мішенню є **молекула ДНК**. Великий внесок у розвиток цієї теорії зробив видатний радіобіолог і генетик **М.В. Тимофєєв-Ресовський**.

У цей період сформувалась теорія прямої дії випромінення, що доводили можливість безпосередньої взаємодії випромінень з мішенню, та непрямої дії, яка підтверджувала, що головну роль у радіаційному ушкодженні відіграють процеси взаємодії продуктів радіолізу води, з якої на 90 % складаються клітини, з мішенню. В цей час відкрито «**кисневий ефект**», суть якого в тому, що при зменшенні в середовищі концентрації кисню ступінь променевого ушкодження знижується.

Ці роки ознаменувалися ще одним великим відкриттям — встановленням **мутагенної дії іонізуючої радіації**, її властивості впливати на спадковий апарат живого організму. Першими це продемонстрували в **1925 р.** на найпростіший грибах російські вчені **Г.А. Надсон та Г.С. Філіпов**. В **1927 р.** американський генетик **Г.Мьоллер** показав ці можливості на дрозофілі — плодовій мушці, а в **1928 р.** — **Л. Стедлер** на вищих рослинах. З відкриттям радіаційного мутагенезу почали активно проводитись роботи з виведення за допомогою іонізуючих випромінень нових сортів культурних рослин. В **1930 р.** такі роботи розпочали українські вчені **Л.М. Делоне та А. О. Сапєгін**.

В ці роки народилась сільськогосподарська радіобіологія та зародились основи радіоекології як науки, що вивчає вміст в об'єктах навколишнього середовища природних радіоактивних елементів. Біля її джерел стояв видатний геолог і геохімік, перший президент Академії наук України **В.І. Вернадський**.

На початку другої світової війни був нагромаджений великий експериментальний матеріал, зроблені деякі узагальнення, створені теорії, проте ні радіобіологія, ні радіоекологія як науки ще не сформувались. Навіть термін «радіобіологія» існував лише у колі вузьких спеціалістів.

Третій етап. Використання США в **1945 р.** атомної бомби в Японії,

масові випробування в наступні роки атомної зброї в ряді країн, в тому числі й у колишньому СРСР, призвели до реальної загрози радіаційного ушкодження біосфери. Цей період, коли різко зріс інтерес до наслідків біологічної дії іонізуючої радіації, знаменує початок третього етапу розвитку радіобіології.

Саме в ці роки радіобіологія остаточно формується як самостійна галузь науки. Актуальним для неї стає таке практичне завдання, як пошук засобів захисту організму від іонізуючого випромінювання. В 1949 р. були винайдені радіозахисні властивості амінокислоти **цистеїну**, **ціаніду натрію**, **амінів**. У 1951 р. бельгійський радіобіолог **З. Бак** показав високу протипроменеву ефективність синтезованої ним сполуки **цистеаміну**, який і нині залишається одним з найбільш дієвих радіозахисних препаратів.

У 50-ті рр. була експериментально доведена властивість клітини відновлюватись після ушкоджень, завданих опроміненням. Для тих років характерним є також широке використання досягнень радіобіології для вирішення практичних завдань. Розширюється фронт використання іонізуючих випромінень у медицині, їх починають ефективно використовувати в сільському господарстві. В радіобіології виділяються багато самостійних напрямів, у тому числі й сільськогосподарська радіобіологія.

Ще до війни було розпочато дослідження з використання іонізуючого випромінювання у невеликих дозах для підвищення врожайності рослин. Було показано, що опромінене в стимулюючих дозах насіння швидше проростає, енергійніше сходить. Нерідко це проявляється і в наступному прискоренні росту та розвитку рослин і збільшує їх продуктивність.

В 50-70-ті рр. одержано певні результати в галузі практичної стимуляції рослин. У деяких країнах технологію передпосівного опромінення насіння, живців, розсади змогли довести до рівня широкомасштабних випробувань і навіть до впровадження у практику. Пристрасним пропагандистом та ініціатором випробувань цього методу в Україні був відомий учений в галузі агрохімії та фізіології рослин **П.А. Власюк**.

Успішно впроваджувався у сільськогосподарське виробництво метод опромінення насіння та іншого садивного матеріалу для виведення нових сортів рослин. Всього за цей період у світі одержано за допомогою іонізуючої радіації понад тисячу сортів рослин, майже половину яких становлять сорти сільськогосподарських культур. В Україні за допомогою опромінення одержано високоврожайні, стійкі проти різних захворювань сорти кукурудзи, люпину, сої та інших культур. Автором деяких сортів гречки, виведених за допомогою цього методу, є відомий селекціонер професор **О.С. Алексеєва**. На основі досягнень сільськогосподарської радіобіології в агропромисловому виробництві впроваджуються багато інших радіаційних методів і технологій: для запобігання проростанню цибулин, бульбо- та коренеплодів при тривалому зберіганні, для подолання не-

сумісності тканин рослин при прищепках, для боротьби з шкідниками сільськогосподарських рослин і збудниками інфекційних хвороб тварин, дня стерилізації, консервації, знезаражування продукції рослинництва і тваринництва.

У зв'язку з випробуванням багатьма країнами в 50-ті і на початку 60-х рр. ядерної зброї та глобальним забрудненням Землі штучними радіоактивними речовинами перед радіобіологією постають нові завдання у вивченні закономірностей їх міграції в біосфері, шляхів надходження в рослини, організми тварин та людини, особливості дії на організм інкорпорованих (що надимили усередину) радіоактивних речовин, що нерівномірно розподіляються по тканинах, з різною швидкістю виводяться з нього. У цей період бурхливо розвивається радіоекологія, формується сільськогосподарська радіоекологія, основу якої в той час становили дослідження природної радіоактивності ґрунтів, сільськогосподарських рослин і тварин, шляхів міграції природних та штучних радіоактивних речовин в цих об'єктах. Великий внесок у розвиток цих досліджень в 50-80-ті рр. внесли українські радіоекологи **Д.М. Гродзинський, О.О. Городецький, А.І. Даниленко.**

Наприкінці 70-х та у першій половині 80-х рр. спостерігались деякі зовсім невинуваті тенденції скорочення обсягу радіобіологічних робіт. Причиною цього деякою мірою було самозаспокоєння, зумовлене заборонами випробувань ядерної зброї та необхідністю зниження радіаційного фону, успіхами руху прихильників миру. Але головна причина — недалекоглядність деяких керівників науки.

Четвертий етап — це сучасний період розвитку радіобіології і радіоекології. Відлік його почався 26 квітня 1986 р. В радіобіологію прийшов численний загін спеціалістів із суміжних наук. Відкрито багато нових інститутів, лабораторій, кафедр радіобіологічного профілю, що покликані вирішити старі проблеми і нові завдання, які постали перед радіобіологією і радіоекологією в зв'язку з аварією на Чорнобильській АЕС.

Основними з них є:

- 1) специфіка дії на живі організми малих доз іонізуючих випромінень;
- 2) особливості дії на живі організми хронічного опромінення;
- 3) профілактика й терапія гострих та хронічних променевих ушкоджень;
- 4) радіаційне порушення імунітету;
- 5) віддалені наслідки опромінення;
- 6) спільна дія на організм іонізуючих випромінень та інших факторів;
- 7) міграція штучних радіоактивних речовин в об'єктах навколишнього середовища;
- 8) особливості дії на живі організми випромінення інкорпорованих радіоактивних речовин;
- 9) запобігання надходженню і нагромадженню радіоактивних речовин у рослинах, організмах тварин і людини;
- 10) виведення радіоактивних речовин з організму людини.

ТЕМА № 2 НОРМИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

План

1. Принципи нормування радіаційного впливу
2. Основні положення «Норм радіаційної безпеки України» (НРБУ-97)
3. Основні регламентні величини
4. Радіаційно-гігієнічні регламенти першої групи — контроль за практичною діяльністю
5. Радіаційно-гігієнічні регламенти другої групи — медичне опромінення населення
6. Радіаційно-гігієнічні регламенти третьої групи — втручання в умовах радіаційної аварії
7. Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи — зменшення доз хронічного опромінення населення

1. ПРИНЦИПИ НОРМУВАННЯ РАДІАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

В основі нормування радіаційного впливу на організм людини лежать відомості про біологічну дію іонізуючих випромінювань. У результаті експериментів на тваринах та вивчення наслідків опромінення людей при ядерних вибухах, аваріях на підприємствах ядерно-паливного циклу, променевої терапії злоякісних пухлин та в інших екстремальних ситуаціях були встановлені реакції організму на гострета хронічне опромінення - так звані радіобіологічні ефекти.

Прийнято виділяти дві основні групи радіобіологічних ефектів:

нестохастичні та стохастичні.

Нестохастичні, або детерміністичні ефекти мають дозову залежність і проявляються в опроміненому організмі через відносно короткий термін. Із збільшенням дози опромінення зростає ступінь ураження органів і тканин — спостерігається ефект градування. Тобто залежно від величини і потужності дози розвивається той чи інший ефект (радіаційна стимуляція, морфологічні зміни, променева хвороба, загибель організму).

Стохастичні, або імовірні (випадкові) ефекти належать до віддалених наслідків опромінення організму. В основі виникнення стохастичних ефектів лежать викликані опроміненням мутації та інші порушення в клітинних структурах. Вони виникають як у соматичних (від латинського *somatos* — тіло), так і в статевих клітинах і зумовлюють утворення в опроміненому організмі злоякісних пухлин (соматико-стохастичні ефекти), а у нащадків — аномалії розвитку та інші порушення, які передаються спадково (генетичні ефекти).

Через обережність у галузі радіаційної безпеки прийнято вважати, що порога мутагенної дії радіації не існує, а значить немає і цілком безпечних доз. Тому опромінення людей в якій завгодно малій дозі відбувається з додатковим, відмінним від нуля, ризиком виникнення стохастичних ефектів. Із збільшенням дози опромінення імовірність виникнення стохастичних ефектів зростає лінійно. В цьому полягає суть концепції безпорогової лінійної залежності виникнення стохастичних ефектів.

Відповідні коефіцієнти лінійного зв'язку поміж дозою опромінення людей і виходом стохастичних ефектів встановлюються МКРЗ. Як правило, ці коефіцієнти виражають у вигляді додаткового виходу злоякісних пухлин та генетичних порушень і ступеня ризику загибелі організму від них, віднесених до колективної еквівалентної дози, що дорівнює 10 люд. — Зв (1 млн. люд.-бер).

Згідно з публікацією № 60 МКРЗ (1990 р.) при додатковій дії іонізуючого випромінювання, як одного з багатьох факторів мутагенезу, у дозі 1 сЗв (1 бер) ризик виникнення злоякісних пухлин зростає на 5 %, а прояв генетичних дефектів — на 0,4 %. Це може призвести до додаткової загибелі людей.

Ризик загибелі людей від додаткового впливу іонізуючого опромінення в таких малих дозах значно менший ризику їх загибелі на самому безпечному виробництві. Але він є, тому дозове навантаження на організм людини суворо регламентовано.

Цю функцію виконують норми радіаційної безпеки. НРБУ-97 спрямовані на недопущення виникнення детерміністичних (соматичних) ефектів і на обмеження на прийнятому рівні виникнення стохастичних ефектів.

Радіаційно-гігієнічні регламенти, як встановлені НРБУ-97, побудовані на таких трьох принципах захисту:

- ✓ принцип виправданості;
- ✓ принцип неперевищення;
- ✓ принцип оптимізації.

Принцип

виправданості вимагає, щоб користь від вибраної людської діяльності перевищує валасумарний збиток для суспільства чи людини.

Принцип

неперевищення вимагає недопущення встановлених рівнів опромінення.

Принцип оптимізації вимагає, щоб користь від вибраної людської діяльності не тільки перевищувала пов'язаний з нею збиток, але й була максимальною, а дози опромінення мають бути якомога нижчими.

2. ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ «НОРМ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ УКРАЇНИ» (НРБУ-97)

НРБУ-97 є основним державним документом, що встановлює систему радіаційно-гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення як для окремої людини, так і для суспільства взагалі.

Метою НРБУ-97 є визначення основних вимог до:

- ✓ охорони здоров'я людини від можливої шкоди, що пов'язана з опроміненням від джерел іонізуючого випромінення;
- ✓ безпечної експлуатації джерел іонізуючого випромінення;
- ✓ охорони навколишнього середовища.

НРБУ-97 встановлює два принципово відмінні підходи до забезпечення протирадіаційного захисту:

1. При всіх видах практичної діяльності в умовах нормативної експлуатації індустриальних та медичних джерел іонізуючого випромінення.
2. При втручанні, яке пов'язано з опроміненням населення в умовах радіаційної аварії, а також при хронічному опроміненні за рахунок техногенно-підсилених джерел природного походження.

Практична діяльність — це діяльність людей, що пов'язана з використанням джерел іонізуючого випромінення і спрямована на досягнення матеріальної чи іншої користі, яка призводить чи може призвести до контрольованого та передбаченого опромінення людей.

До практичної діяльності належать: виробництво джерел випромінення, використання їх у промисловості, медицині, сільському господарстві, наукових дослідженнях тощо, а також виробництво ядерної енергії, включаючи всі елементи ядерного паливного циклу.

Втручання — такий вид людської діяльності, що передбачає проведення контрольних заходів, які завжди спрямовані на зниження та відвернення неконтрольованого і непередбаченого опромінення або імовірності опромінення населення.

НРБУ-97 не поширюються на опромінення людини від природного радіаційного фону та на опромінення в умовах повного звернення практичної діяльності (джерел іонізуючого випромінення) від регулювання.

3. ОСНОВНІ РЕГЛАМЕНТНІ ВЕЛИЧИНИ

НРБУ-97 включають чотири групи радіаційно-гігієнічних регламентних величин (регламентів):

Перша група — регламенти для контролю за практичною діяльністю, метою яких є додержання опромінення персоналу та населення на прийнятному для індивідууму та суспільства рівні, а також підтримання радіаційно-прийнятого стану навколишнього середовища та технології радіаційно-ядерних об'єктів. До цієї групи входять такі регламенти:

- ✓ ліміти доз;
- ✓ похідні рівні;
- ✓ допустимі рівні
- ✓ контрольні рівні

Друга група — регламенти, що мають за мету обмеження опромінення людини від медичних джерел. До цієї групи входять

- ✓ рекомендовані рівні.

Третя група — регламенти щодо відвернутої внаслідок втручань дози опромінення населення в умовах радіаційної аварії. До цієї групи входять:

- ✓ рівні втручань;
- ✓ рівні дії.

У межах цього документа *рівень втручань* — це рівень відвернутої дози опромінення, при перевищенні якої потрібно застосовувати конкретний контрзахід у разі аварійного чи хронічного опромінення.

Відвернута доза — це доза, яку передбачається відвернути за час дії контрзаходів, пов'язаних з цим втручанням.

Рівень дії — це величина, яка виражається у вигляді таких показників радіаційної обстановки, які можуть бути виміряні (потужність дози у випроміненні, об'ємна активність радіонуклідів у повітрі, концентрація їх у продуктах харчування, щільність радіоактивних випадань на ґрунті та ін.). При перевищенні встановлених показників розглядається питання про проведення втручань.

Четверта група — регламенти щодо відвернутої внаслідок втручань дози опромінення населення від техногенно-підсилених джерел природного походження (гранітні кар'єри, будівельні матеріали, мінеральні добрива тощо).

До цієї групи входять:

- ✓ рівні втручань;
- ✓ рівні дії

Нормами радіаційної безпеки встановлюються такі категорії осіб, які зазнають опромінення:

Категорія А (персонал) — особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінень.

Категорія Б — особи, які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінень, але в зв'язку з розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримати додаткове опромінення.

Категорія В — усе населення України.

4. РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ПЕРШОЇ ГРУПИ — КОНТРОЛЬ ЗА ПРАКТИЧНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ

Ліміт дози та допустимі рівні

Числові значення лімітів доз встановлюються на рівнях, що виключають можливість виникнення детерміністичних ефектів опромінення і одночасно гарантують настільки низьку імовірність виникнення стохастичних ефектів опромінення, що вона є прийнятною як для окремих осіб, так і для суспільства в цілому.

Ліміт дози — основний радіаційно-гігієнічний норматив, метою якого є обмеження опромінення осіб категорій А, Б і В від усіх індустриальних джерел іонізуючого випромінення у ситуаціях практичної діяльності.

Оцінка допустимих рівнів зовнішнього і внутрішнього опромінення на організм людини проводиться не тільки за рівнем опромінення всього організму, але і за станом критичних органів, які в умовах нерівномірного

опромінення організму призводять до найсуттєвішої шкоди здоров'ю людини або її нащадків. У порядку зменшення радіочутливості виділяють три групи критичних органів:

1. усе тіло, гонади, червоний кістковий мозок; кишковий тракт, кришталік ока та інші;
2. кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, ступні.
3. кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, ступні.

Річна ефективна доза — сума ефективної еквівалентної дози зовнішнього опромінення за рік та очікуваної ефективної еквівалентної дози внутрішнього опромінення, що сформоване надходженням радіонуклідів протягом року. Одиницею вимірювання цих доз у системі СІ є Зіверт, а позасистемною одиницею — бер (біологічний еквівалент рада). $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$.

Період, за який розраховується очікувана еквівалентна доза внутрішнього опромінення, складає:

- для референтного віку — 50 років;
- для інших референтних років — 3 міс, 1 рік, 5 років, 10 років, 15 років.

Референтний вік — це інтервал часу між моментом надходження радіонуклідів та віком 70 років.

З лімітом дози порівнюється сума ефективних доз опромінення від усіх індустріальних джерел випромінень. До цієї суми не включають:

- ✓ дозу, яку одержують при медичному обстеженні або лікуванні;
- ✓ дозу опромінення від природних джерел випромінення;
- ✓ дозу, що пов'язана з аварійним опроміненням населення
- ✓ дозу опромінення від техногенно-підсиленних джерел природного походження.

Крім ліміту доз для всіх категорій опромінених осіб, НРБУ-97 встановлюється такий перелік допустимих рівнів (ДР): .

Для осіб категорії А:

- ✓ допустиме надходження (ДН) радіонукліда через органи дихання;
- ✓ допустима концентрація (ДК) радіонукліда в повітрі робочої зони; Для осіб категорії Б:»ання (ДНд) і травлення (ДНт);
- ✓ допустима концентрація радіонукліда в повітрі (ДКп) та питній воді (ДКв);
- ✓ допустимий скид і викид у довкілля радіонукліда. допустима щільність потоку частинок (ДЩП);
- ✓ допустима потужність доз зовнішнього опромінення (ДПД);
- ✓ допустиме радіоактивне забруднення (ДЗ) шкіри, спецодягу та робочих поверхонь.
- ✓ допустиме надходження (ДН) радіонукліда через органи дихання;
- ✓ допустима концентрація (ДК) радіонукліда в повітрі робочої зони.

Для осіб категорії В:

- ✓ допустиме надходження радіонукліда через органи дихання і травлення (ДНд) і (ДНт).

✓ допустима концентрація радіонукліда в повітрі (ДКп) і питній воді (ДКв).

✓ допустимий скид і викид у довкілля радіонукліда.

Числові значення допустимих рівнів (ДН, ДК) для головних продуктів ядерного поділу наведено у таблиці

Допустимі рівні надходження основних дозоутворюючих радіонуклідів через органи дихання (ДН) та допустимі концентрації у повітрі робочих приміщень (ДК) для осіб категорії А

Для осіб категорії Б величини ДР та ДЗ у 10 разів нижчі відповідних ДР і ДЗ для осіб категорії А.

Рівні допустимого радіоактивного забруднення шкіри, спецодягу та робочих поверхонь, знаходяться у таблиці 4. Ці числові значення є радіаційно-гігієнічними регламентами.

Одним із важливих заходів зменшення доз опромінення осіб категорії В є встановлення гігієнічних регламентів вмісту окремих радіонуклідів у продуктах харчування та питній воді. Наказом МОЗ від 03.05.2006 р. № 256 затверджені Державні гігієнічні нормативи «Допустимі рівні вмісту радіонуклідів $^{137}\text{Св}$ і $^{90}\text{Зг}$ у продуктах харчування та питній воді» (ДР-2006), що запроваджені з метою подальшого зниження дози внутрішнього опромінення населення шляхом обмеження надходження радіонуклідів з продуктами харчування та стимуляції створення і дотримання виробниками необхідних умов одержання чистої продукції на забруднених територіях. Числові значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів $^{137}\text{Сз}$ і $^{90}\text{Гг}$ у продуктах харчування та питній воді наведені в таблиці 5.

Контрольні рівні

З метою фіксації досягнутого рівня радіаційної безпеки на даному радіаційно-ядерному об'єкті, населеному пункті і навколишньому середовищі встановлюються контрольні рівні.

Значення останніх визначається адміністрацією об'єкта на рівні, нижчому за відповідні ліміти доз та допустимі рівні. Допускається встановлювати контрольні рівні для окремого радіонукліда та шляху його надходження, включаючи введення контрольних рівнів на вміст радіонукліда в окремому продукті харчування або на окремій території.

При перевищенні контрольних рівнів адміністрацією об'єкта проводиться розслідування з метою виявлення та усунення причин, що призвели до перевищення. Контрольні рівні регулярно переглядаються, враховуючи поточний радіаційний стан на об'єкті.

Особливості опромінення осіб категорії А

Для осіб категорії А розподіл дози опромінення протягом календарного року не регламентується.

Особи, молодші за 18 років, не допускаються до роботи з джерелами іонізуючих випромінювань.

У разі небезпечних ситуацій (недопущення розвитку радіаційної аварії

або при проведенні деяких технологічних операцій на радіаційно-ядерному об'єкті та ін.) для осіб категорії А дозовий ліміт підвищується до 50 мЗв за календарний рік.

Опромінення персоналу в дозах від 50 до 100 мЗв на рік дозволяється місцевими органами Державного санітарно-епідеміологічного нагляду'. При цьому сумарна доза опромінення за 10 років роботи не повинна перевищувати 200 мЗв.

У виняткових випадках опромінення персоналу в дозах 100-250 мЗв на рік може бути дозволено МОЗ один раз протягом усієї трудової діяльності працівника з його письмової згоди.

Особи, які зазнали одноразового опромінення в дозах" 100-250 мЗв, мають бути виведені із зони опромінення і направлені на медичне обстеження.

Забороняється підвищене опромінення жінок до 45 років та чоловіків, молодших 30 років.

Особи з населення, які залучаються до проведення аварійних та рятувальних робіт, на цей період прирівнюються до категорії А.

5. РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ДРУГОЇ ГРУПИ — МЕДИЧНЕ ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Медичне опромінення спрямоване на досягнення тільки очевидної користі для конкретної людини або суспільства у вигляді отримання необхідної діагностичної чи наукової інформації або терапевтичного ефекту.

Повторність однотипних діагностичних досліджень (процедур) допускається тільки необхідністю і можливістю отримання нової чи розширеної інформації.

При проведенні профілактичного обстеження населення (флюорографії) річна ефективна доза не повинна перевищувати 1 мЗв.

Вагітні жінки, а також жінки у період грудного годування дитини мають уникати медичного опромінення, за винятком випадків, що загрожують життю.

При проведенні радіологічних процедур (введення радіофармацевтичних препаратів) потужність дози у-випромінення на відстані 0,1 м від пацієнта не повинна перевищувати 1мР за год. (при виході з радіологічного відділення).

6. РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНИЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ТРЕТЬОЇ ГРУПИ — ВТРУЧАННЯ В УМОВАХ РАДІАЦІЙНОЇ АВАРІЇ

Види радіаційних аварій та їх класифікація

Радіаційна аварія — незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, при якій відбувається втрата контролю над джерелом випромінення і реальне (або потенційне) опромінення людей.

Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи:

- а) аварії, які не супроводжуються радіоактивним забрудненням виробничих приміщень, іфоммайданчика об'єкта та навколишнього середовища;
- б) аварії, в результаті яких відбувається розгерметизація закритих джерел і радіоактивне забруднення середовища виробничої діяльності та проживання людей.

Аварії першої групи супроводжуються додатковим зовнішнім у-, рентгенівським, Р- і нейтронним опроміненням людей.

Аварії другої групи супроводжуються додатковим зовнішнім і внутрішнім опроміненням людей.

Масштаб радіаційної аварії визначається розміром території, а також чисельністю людей, які втягнуті до неї. За своїм масштабом радіаційні аварії поділяють на два класи:

- ✓ промислові;
- ✓ комунальні.

До класу промислових аварій належать такі, що не поширюються за межі території виробничих приміщень і проммайданчика об'єкта, а аварійне опромінення може отримати лише персонал.

До класу комунальних належать аварії, наслідки яких поширюються як на територію об'єкта, так і на оточуючі території, де проживає населення. Комунальні радіаційні аварії поділяють на:

- а) **локальні**, якщо в зоні аварії проживає населення загальною чисельністю до 10 тисяч чоловік;
- б) **регіональні** — території населених пунктів, адміністративних районів, областей, де чисельність населення перевищує 10 тисяч чоловік;
- в) **глобальні** — аварії, в результаті яких значна частина, або вся територія країни і її населення зазнає негативного впливу.

У розвитку комунальних аварій виділяють три основні часові фази:

- а) **рання** (гостра) фаза—тривалість від декількох годин до одного-двох місяців;
- б) **середня** фаза, або фаза стабілізації — починається через один-два місяці і завершується через 1-2 роки;
- в) **пізня** фаза, чи фаза відновлення — починається через 1—2 роки після початку аварії.

Населення в умовах радіаційної аварії

При виникненні комунальної радіаційної аварії окрім термінових робіт щодо стабілізації радіаційного стану, включаючи відновлення контролю над джерелом, мають бути одночасно здійснені заходи, спрямовані на:

- а) **зведення** до мінімуму кількості осіб з населення, які зазнають аварійного опромінення;
- б) **запобігання** чи зниження рівня радіаційного забруднення продуктів харчування, питної води, сільськогосподарської сировини та угідь, об'єктів довкілля (повітря, води, ґрунту, рослин тощо), а також будівель і споруд.

Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії

базується на системі контрзаходів. При реалізації контрзаходу, як правило, відвертається по вся доза від аварійного джерела. Деяка її частка зберігається, це так званий шишковий (невідвернутий) рівень дози опромінення, запобігання якої даним контрзаходом стає неприйнятним тому, що суттєво збільшується збиток.

Залежно від масштабів і фаз радіаційної аварії, а також від рівнів прогнозованих доз опромінення контрзаходи умовно поділяють на:

- термінові
- невідкладні
- довгострокові

Термінові контрзаходи

Дотермінових належать такі контрзаходи, проведення яких спрямоване на запобігання виникнення в осіб з населення важких радіаційних уражень, щовиявляється клінічно. До таких контрзаходів належать укриття та евакуація.

Рівні безумовно виправданих термінових контрзаходів (втручань) визначаються значеннями прогнозованих поглинених доз при гострому опроміненні за період менше 2 діб та значеннями річних еквівалентних доз при хронічному опроміненні.

Невідкладні контрзаходи

Контрзаходи кваліфікуються як невідкладні, якщо їх реалізація спрямована на відвернення детерміністичних ефектів.

Основні та найбільш ефективні невідкладні контрзаходи на початковій фазі аварії такі: укриття, евакуація, йодна профілактика та обмеження перебування людей на відкритому повітрі.

Для проведення цих контрзаходів вводяться рівні виправданості та безумовної виправданості, які визначаються значеннями відвернутої дози за перші два тижні після аварії.

Крім основних контрзаходів, на ранній фазі аварії застосовуються допоміжні контрзаходи, доцільність введення яких розглядається у кожній конкретній ситуації, але для них рівні втручань не вводяться (заходи пилоподавлення, спеціальний режим роботи підприємств, шкіл, дитячих садків та ін.).

Довгострокові контрзаходи

До довгострокових належать контрзаходи, спрямовані на відвернення доз опромінення, значення яких, як правило, нижче порога виникнення детерміністичних ефектів у осіб з населення.

Довгострокові контрзаходи включають: тимчасове виселення, обмеження вживання забруднених радіонуклідами води і продуктів харчування на досить тривалий час, обмеження сільськогосподарської діяльності, дезактивацію території та забруднених будівель і споруд, гідрологічні, лісотехнічні та інші контрзаходи.

Довгострокові контрзаходи проводять після повного завершення аварійного радіоактивного забруднення території з урахуванням аналізу

результатів детального радіаційного моніторингу.

Втручання слід вважати безумовно виправданим, якщо довгостроковим контрзаходом запобігається така прогнозована доза, яка перевищує значення рівнів, або пов'язаних з ним рівнів дій.

Заборона

чи обмеження споживання продуктів харчування місцевого виробництва вводиться на ранній, середній і, частково, пізній фазах аварії.

Протевикористання значень рівнів дії, вказаних в таблиці 10, вимагає постійного застосування процедури розважування за принципом «користь — збиток», оскільки не виключені ситуації, коли при вкрай обмежених можливостях підвозу чистих продуктів харчування, заборона чи обмеження споживання місцевих продовольчих ресурсів може викликати прям загрозу голоду. При цьому наслідки для здоров'я людей дефіциту продуктів можуть виявитися набагато важчими, аніж ті, які пов'язані з радіаційним фактором — стохастичними ефектами.

Рішення на проведення інших довгострокових контрзаходів приймається на основі процедури розважування за принципом «користь-збиток». На них не вводяться ні межі виправданості, ні безумовні рівні втручання.

Будь-який довгостроковий контрзахід має бути припинений, якщо оцінки доз показують, що подальше його продовження не виправдане, оскільки величина невідвернуто залишкового рівня доз виявляється нижче прийнятого.

НРБУ-97

встановлює такий залишковий прийнятний сумарний рівень ефективної дози:

- а) 1 мЗв за рік для хронічного опромінення тривалістю понад 10 років;
- б) 5 мЗв сумарно за період 2 роки;
- в) 15 мЗв сумарно за перші 10 років.

Ці значення враховуються при визначенні границь зони комунальної аварії.

7. РАДІАЦІЙНО-ГІГІЄНІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ ЧЕТВЕРТОЇ ГРУПИ — ЗМЕНШЕННЯ ДОЗ ХРОНІЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ НАСЕЛЕННЯ

Регламенти цієї групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення населення від техногенно-посилених джерел природного походження, чи і м результат господарської та виробничої діяльності людини були піддані концентруванню або збільшилась їх доступність, внаслідок чого утворилося додаткове до природного радіаційного фону опромінення.

НРБУ-97 вводять обмеження на вміст природних радіонуклідів у мінеральній сировині та будівельних матеріалах, питній воді, мінеральних добривах, виробках із скла, порцеляни та глини, мінеральних барвниках, а також на концентрацію ізотопів радону в повітрі приміщень та робочих місць, на потужність дози у випромінюванні приміщень.

Будівельні матеріали і мінеральна сировина з питомою активністю ^{226}Ra (радій), ^{232}Th (торій) і ^{40}K (калій) у межах 370 Бк/кг використовують без

обмежень для всіх видів будівництва (1 клас); активність 370-740 Бк/кг — для промислового будівництва та будівництва шляхів (2 клас); активністю 740-1350 Бк/кг — для будівництва підземних споруд, спорудження гребель, шляхів поза межами населених пунктів (3 клас).

Для матеріалів, що мають естетичну цінність питома активність не повинна перевищувати 3700 Бк/кг. Їх використовують з обмеженнями для внутрішнього та зовнішнього оздоблення об'єктів громадського призначення. *Потужність дози γ -випромінення в приміщенні:*

а) у житлових приміщеннях, дитячих та лікувально-профілактичних закладах, які проектується, будуються та реконструюються потужність дози становить не більше 30 мкР/год;

б) у приміщеннях будівель і споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, у тому числі житлових, — 50 мкР/год (за винятком дитячих, санаторно-курортних та оздоровчо-лікувальних закладів). *Рівень ^{222}Rn (радон) у приміщеннях та спорудах, які будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей, становить 50 Бк/м³ повітря; ^{220}Rn (торон) — 3 Бк/м³. У приміщеннях та спорудах, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, рівень ^{222}Rn у зоні дихання становить 100 Бк/м³, а для ^{220}Rn — 6 Бк/м³ (для дитячих та лікувально-профілактичних закладів — у два рази нижчий).*

Питома активність природних радіонуклідів у воді джерел господарсько-питного водопостачання не повинна перевищувати:

- для ^{222}Rn — 100 Бк/л;
- для ізоотопів урану — 1 Бк/л;
- для ^{226}Ra — 1 Бк/л.

Допустима концентрація (питома активність) ^{238}U та ^{232}Th у мінеральних добривах становить 1,9 кБк/кг.

ТЕМА № 3 БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЕНЬ

План

- 1. Загальні уявлення про природу дії іонізуючих випромінень на живий організм*
- 2. Радіобіологічні ефекти*
- 3. Радіаційна стимуляція*
- 4. Морфологічні зміни*
- 5. Променева хвороба*
- 6. Прискорення старіння і скорочення тривалості життя*
- 7. Загибель*
- 8. Генетичні зміни*
- 9. Близькі і віддалені наслідки радіаційного ураження*
- 10. Радіочутливість організмів*
 - 10.1. Радіочутливість рослин*
 - 10.2. Радіочутливість тварин*
 - 10.3. Радіочутливість риб*
 - 10.4. Радіочутливість амфібій і рептилій*
 - 10.5. Радіочутливість бактерій і вірусів*
 - 10.6. Радіочутливість рослинних угруповань*

1. ЗАГАЛЬНІ УЯВЛЕННЯ ПРО ПРИРОДУ ДІЇ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЕНЬ НА ЖИВИЙ ОРГАНІЗМ

На початку 20-х р. німецький фізик **Ф. Десауер** почав досліджувати причини радіобіологічного парадокса. Він висунув гіпотезу, що ушкодження не всякої молекули шкідливе для клітини. Коли воно відбувається в особливо важливих місцях, наприклад в молекулах хромосом, це може призвести до ушкодження всієї клітини. А ушкодження багатьох клітин цілком природно уражує весь організм.

Відомо, що хромосоми складаються з великої кількості молекул дезоксирибонуклеїнової кислоти (**ДНК**) і що саме молекули ДНК є тими чутливими до іонізуючого випромінювання елементами клітини, так званими «**мішенями**», що відповідають за радіаційне ураження. Кожна з молекул ДНК є матрицею для синтезу десятків молекул рибонуклеїнової кислоти (**РНК**). Тому, якщо молекула ДНК дістала ушкодження своєї структури, вона передає його й молекулам РНК, а кожна молекула РНК є матрицею для синтезу десятків молекул білків, яким, також передається ушкодження. Таким чином відбувається посилення ушкодження, його множення в сотні і тисячі разів. Більш того, високоенергетичне іонізуюче випромінювання має властивість розривати не тільки зв'язки між електроном і ядром, а й будь-які хімічні зв'язки в молекулах і спричинювати тривалі реакції в клітинах, які

залучають у процеси розвитку променевого ураження велику кількість інших біологічно важливих молекул, прямо не зачеплених опроміненням. Внаслідок цього загальний об'єм молекулярних ушкоджень порівняно з початковим, зумовленим безпосередньо дією випромінювання, збільшується в сотні і тисячі разів, що призводить до ослаблення контролю над окремими процесами, порушення систем обміну речовин і до різних радіобіологічних ефектів.

2. РАДІОБІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ

Радіобіологічний ефект — це реакція живого організму на дію іонізуючого випромінювання, що характеризується зміною деяких його ознак та властивостей. Звичайно виділяють два класи радіобіологічних ефектів — соматичні й генетичні. Соматичними радіобіологічними ефектами є зміни, що відбуваються в організмі протягом його онтогенезу — періоду індивідуального розвитку; генетичними — ушкодження, що передаються нащадкам, тобто реалізуються в наступних поколіннях.

Серед соматичних ефектів розрізняють такі 5 основних типів:

- радіаційна стимуляція,
- морфологічні зміни,
- променева хвороба,
- прискорення старіння, що призводить до скорочення тривалості життя, і загибель.

Генетичні, або мутагенні, ефекти утворюють самостійний клас.

3. РАДІАЦІЙНА СТИМУЛЯЦІЯ

Радіаційна стимуляція — це прискорення росту та розвитку організму при дії на нього іонізуючого випромінювання в дозах, в десятки, а іноді й сотні разів нижчих за ті, що спричиняють гальмування цих процесів.

Описана вперше французькими вченими **М. Мальдінесом та К. Тувініеном** ще в **1898 р.** як явище прискорення проростання опроміненого ними насіння. На сьогодні доведено, що в умовах радіобіологічної лабораторії при наявності джерела іонізуючого випромінювання можна підібрати для насіння, проростків, вегетуючих рослин, мікроорганізмів, комах, лабораторних тварин та інших організмів будь-якого виду дозу, при якій спостерігається ефект радіаційної стимуляції. Ці дози варіюють у досить широких межах, що залежить від чутливості організмів до випромінень, їх фізіологічного стану, виду випромінювання та деяких інших факторів. Наприклад, для насіння стимулюючі дози в багато разів вищі, ніж для проростків та вегетуючих рослин, для мікроорганізмів — у десятки і сотні разів вищі, ніж для ссавців та комах.

Радіаційна стимуляція рослин виявляється в прискоренні проростання насіння, збільшенні енергії проростання, схожості, наступному прискоренні росту рослин, проходженні фаз розвитку, що в цілому

приводить до скорочення тривалості вегетаційного періоду, прискорення досягання рослин та збільшення їх урожайності.

Про стимулюючу дію іонізуючого випромінення на організм тварин можна зробити висновок за тими самими критеріями, що й при опроміненні рослин, а саме за прискоренням чи посиленням таких функцій, як ріст, розвиток, продуктивність.

Найбільш показовими і численними вважаються дослідження опромінення стимулюючими дозами курячих яєць, курчат і дорослих курей. Доведено, що при опроміненні яєць до інкубації, під час інкубації, одночасно або протягом всього періоду інкубації дозами 0,01-0,05 Гр помітно підвищується виводимість курчат, зменшується відхід курчат, прискорюється на 10-12 днів початок періоду яйцекладки, збільшується несучість птиці в цілому. Опромінення курчат дозою 0,25 Гр сприяє збільшенню їх живучості, прискоренню процесів росту й розвитку, початку яйцекладки. Опромінення дорослих курок у дозі 0,05 Гр збільшує несучість.

Численні дані, одержані при роботі з лабораторними щурами, мишами, морськими свинками, свідчать про те, що при малих дозах у ссавців також спостерігаються прискорення росту, збільшення абсолютної маси тіла, підвищення плодючості.

При опроміненні ікри риби спостерігається прискорення розвитку ембріонів, а при опроміненні мальків — активізація росту й розвитку.

Радіаційна стимуляція спостерігається не тільки при одноразовому, а й при хронічному опроміненні, коли рослини і тварини опромінюються протягом усього періоду розвитку або значної його частини. Так, спостерігалась стимуляція росту рослин кукурудзи і гречки при опроміненні їх протягом вегетаційного періоду при потужності дози опромінення 0,019 Р/доб. Якщо вважати, що потужність радіаційного фону в середньому становить 10 мкР/год, то збільшення його десь у 100 разів може зумовити стимуляцію росту рослин. Схожа ситуація з радіаційним фоном тривалий час була в деяких регіонах України протягом весняно-літнього періоду 1986 р. після аварії на Чорнобильській АЕС. Не випадково деякі дослідники схильні пояснювати небувалий урожай зернових і деяких інших культур того року саме радіаційною стимуляцією.

4. МОРФОЛОГІЧНІ ЗМІНИ

Морфологічні зміни — це зміни зовнішнього вигляду організму, окремих його органів, анатомічної структури, ознак, що відрізняють його від батьківських форм. Ці ознаки не спадкові, а відхилення від норми, потворства, химерність й існують лише в поколінні опромінених організмів.

Особливо характерні вони для **листя**: збільшення або зменшення розмірів і кількості, зміна форми, скручуваність, зморшкуватість, порушення жилкування, асиметричність, потовщення, зрощення листових пластинок та розсічення листка на частини, зміна кольору, мозаїчність, утворення пухлин, некротичних плям, втрата листової пластинки та ін. Багато з цих ознак

можуть виникати і в стеблі, корінні, квітках, плодах, насінні, хоча у них через специфіку будови можуть з'являтися й зовсім нові зміни:

- ✓ у стебла — порушення філотаксису (порядку розміщення листків), поява аеральних (повітряних) коренів;
- ✓ у кореня — загибель головного кореня, опушування зони росту, відсутність бічних коренів;
- ✓ у квітів — зменшення або збільшення кількості квіток у суцвітті та ін.

Найрізноманітніші морфологічні зміни рослин спостерігалися в зоні аварії на **Чорнобильській АЕС у 1986 р.** У 1987 р. і в наступні роки вони залишились переважно у хвойних рослин, що змінюють хвою раз на кілька років, а також на багаторічних органах, передусім на гілках.

У тварин цей тип радіобіологічних ефектів можна виділити не завжди, хоч різні зміни в окремих органах і тканинах тваринного організму в різні строки після опромінення описано досить змістовно. При опроміненні тварин у стадії ембріогенезу (розвитку зародка) можливі порушення росту кісток, пропорцій розвитку окремих органів, порушення росту і розвитку в цілому, що призводить до виникнення різних потворств.

При опроміненні дорослих особин ушкоджуються клітини тканин, що перебувають у стані поділу. Саме в цих місцях виникають морфологічні зміни: кольору шкіри й волосяного покриву, випадання волосся, припинення росту рогових утворень та їх відшаровування, катаракта (помутніння кришталика ока), зміни розмірів і форм окремих органів, різні ступені дистрофії. Опромінення тварин може зумовити найрізноманітніші виразки на поверхні тіла або у внутрішніх органах з наступним утворенням на їхньому місці рубців. До цього типу ефектів опромінення відноситься виникнення під дією радіації пухлин на різних органах.

5. ПРОМЕНЕВА ХВОРОБА

Променева, або радіаційна, хвороба — це захворювання, що виникає при дії іонізуючих випромінень на живий організм і характеризується конкретним комплексом ознак свого прояву. Розрізняють гостру й хронічну форми променевої хвороби.

Гостра променева хвороба виникає звичайно при одноразовому загальному опроміненні. За тяжкістю захворювання розрізняють чотири її ступені:

- ✓ перша — легка, у свиней виникає при дозах опромінення 1–2 Гр;
- ✓ друга — середньої тяжкості, при дозах 2–4 Гр;
- ✓ третя — тяжка, розвивається при дозах 4–6 Гр,
- ✓ четверта — дуже тяжка, спостерігається при дозах, вищих за 6 Гр.

Для більш радіочутливих видів тварин, наприклад для великої рогатої худоби, ці форми променевої хвороби спостерігаються в діапазоні доз, що зміщений у бік менших величин – 0,5–5 Гр; для більш радіостійких, наприклад кролів, навпаки — у бік більших величин – 6–12 Гр.

У розвитку гострої форми променевої хвороби виділяють 4 періоди, або фази.

Перший — *період первинних реакцій* — може спостерігатись вже через кілька годин після опромінення і триває протягом 3–4 діб. Характерними його ознаками є збудження, яке змінюється пригніченням та слабкістю. Погіршується апетит тварин, порушується ритм роботи серця, виникають задихання, понос, блювання, може підвищитись температура тіла. У крові вже в першу добу після опромінення спостерігається нейтрофільний лейкоцитоз, абсолютна та відносна лімфопенія, збільшення кількості ретикулоцитів. На кінець періоду у стані тварини відмічаються суб'єктивні поліпшення.

Другий період — *латентний (прихований)*, фаза удаваного клінічного благополуччя залежно від тяжкості хвороби триває від кількох діб до 2 тижнів і більше. Чим вища одержана доза або чим тяжча форма променевої хвороби, тим він коротший. При дуже тяжких формах променевої хвороби цього періоду може зовсім не бути.

Стан тварин у цей період розвитку хвороби може здаватися задовільним. Однак в крові виявляються чітка лімфопенія, тромбоцитопенія, зниження кількості нейтрофілів та ретикулоцитів. У кістковому мозку яскраво виражена аплазія. В кінці періоду можуть спостерігатись крововиливи на слизових оболонках, порушення функцій травного каналу, бронхіт, пневмонія, випадання шерсті. Але в кістковому мозку в другій половині періоду при легкій та середній формах хвороби з'являються ознаки регенерації.

Третій період — *розгал хвороби* — період виявлених клінічних ознак гострої променевої хвороби залежно від її ступеня виявляється через 1–4 тижні.

Знову виникає задихання, погіршується функціонування серцево-судинної системи, органів травлення, спостерігається втрата апетиту, понос, дистрофічні процеси в слизовій оболонці рота, зменшення маси тіла, може виникнути короткочасна лихоманка, що періодично повторюється, підвищується температура тіла. Характерною ознакою цього періоду є геморагічний синдром – крововиливи під шкіру, на слизових оболонках, у травному каналі, у мозку, серці, легенях та інших органах.

Залежно від одержаної дози та індивідуальної чутливості тварин до опромінення третій період триває від 1 до 3–4 тижнів. Наприкінці його розвивається прогресуюча анемія. При опроміненні в напівлегальних дозах у половини тварин в кістковому мозку та лімфатичних вузлах спостерігається явище повної аплазії, що призводить до загибелі. У другій половині в цих органах відмічаються ознаки регенерації та перехід хвороби через 1–1,5 місяця в четвертий період.

Четвертий – період відновлення, при легкому ступені гострої променевої хвороби проводить досить швидко і повною мірою. Він характеризується поліпшенням загального стану тварин, відновленням апетиту, нормалізацією температури. Зникає кровоточивість, слабнуть диспептичні явища, поступово відновлюються показники крові.

При середній тяжкості хвороби період відновлення триває **2–2,5 місяця** і в цілому видужання завершується за 3–6 місяців.

При тяжкій формі хвороби період відновлення може затягнутись на **7–9 місяців**. Але повністю тварина не видужує: відмічаються зниження імунітету, послаблення відтворної здатності, можливе скорочення тривалості життя. Нерідко гостра форма променевої хвороби переходить в хронічну.

Дуже тяжкий ступінь гострої променевої хвороби у великих сільськогосподарських тварин триває від кількох днів до кількох тижнів і завершується загибеллю їх у першому або третьому періоді. При опроміненні в дозах, що перевищують летальні, загибель може настати вже через 2–4 доби. При дозах, вищих за летальні в 1,5–2 рази, загибель можлива під час опромінення або в найближчі години після нього — так звана «смерть під променем». Причиною загибелі тварин є киснева недостатність, що розвивається внаслідок зменшення кількості гемоглобіну в крові та розвитку токсемії, набряку легенів.

При середньому і тяжкому ступенях гострої променевої хвороби тварини гинуть, як правило, у третьому періоді. Основною причиною цього звичайно є описані вище геморагічні, явища, дистрофічні процеси.

Хронічна променева хвороба — форма радіаційного ураження, що розвивається внаслідок тривалого опромінення організму малими дозами загального опромінення або від радіоактивних речовин, що потрапили всередину.

Виділяють три форми хронічної променевої хвороби: легку, середню і тяжку та періодичність протікання, як і при гострій формі.

✓ **Легка форма** хронічної променевої хвороби зумовлена опроміненням у порівняно, невеликих дозах і протягом короткого періоду, характеризується звичайно функціональними порушеннями переважно нервово-рефлекторного характеру. Після припинення опромінення ці зміни можуть швидко зникнути.

✓ **Для середньої форми** хвороби характерними є порушення регуляторних систем, функціональна недостатність органів травлення, нервової, серцево-судинної систем і особливо крові. Але після припинення опромінення також настає відновлення, що характеризується репаративними процесами у найбільш радіовразливих тканинах, а також нормалізацією функціональних порушень, іноді з тим чи іншим ступенем їх недостатності.

✓ **Тяжка форма** хронічної променевої хвороби, що спостерігається при тривалому опроміненні, характеризується глибокими морфологічними порушеннями деструктивного порядку в органах кровотворення, травному

каналі, нервовій та інших системах. Вона супроводжується поступовим ослабленням діяльності серця, порушенням функцій залоз внутрішньої секреції, виснаженням, зниженням стійкості проти інфекційних хвороб.

При лікуванні променевої хвороби тварин треба орієнтуватись на одержану твариною дозу опромінення і ступінь променевої хвороби. Якщо прогнозується тяжкий ступінь гострої променевої хвороби, то лікувати таку тварину з точки зору економіки недоцільно.

На початку розвитку хвороби рекомендується провести переливання крові, внутрішньовенне введення 25–40 % розчину глюкози з аскорбіновою кислотою (вітаміном С) та ціанкобаламідом (вітаміном В₁₂), надалі активно застосовувати для лікування антибіотики, транквілізатори, глобуліни сироватки крові, нуклеїново-кислий натрій, різні антигеморагічні засоби. При надходженні великої кількості радіоактивних речовин через травний канал слід застосовувати адсорбенти — водну суміш кісткового борошна, цеолітів, при надходженні через легені — відхаркувальні засоби.

Головна мета лікування — запобігти патологіям та усунути їх в органах кровотворення, травному каналі, легенях, відтворювальній та нервово-ендокринній системах.

Променева хвороба рослин також характеризується комплексом неспецифічних ознак. Першою ознакою є гальмування росту рослини або окремих її органів під дією випромінення. Але це вже вторинна реакція рослини на опромінення. Воно є наслідком порушення обміну речовин в результаті ушкодження ферментативних систем, порушення регуляторних зв'язків, що визначають підпорядкованість функцій окремих органів.

У радіочутливих рослин родини бобових (кінських бобів, гороху, квасолі) такі зміни можна виявити вже через кілька годин після опромінення дозами 1–3 Гр. Зміни швидкості поділу клітин виявляються не раніш ніж через 12–24 год., а помітне гальмування росту — ще пізніше.

При дозах, близьких до напівлетальних (для названих культур 4–12 Гр), ці процеси реєструються значно швидше і в частини рослин вже через добу можна спостерігати практично повне припинення поділу клітин та ростових процесів. Однак протягом ще трипалого періоду можуть підтримуватись процеси фотосинтезу, дихання, мінерального та водного обміну.

При променевої хворобі підвищується сприйнятливність рослин до інфекційних хвороб, знижується їх стійкість до несприятливих факторів, зменшується потреба в поживних речовинах, послаблюються відтворювальна здатність і продуктивність.

6. ПРИСКОРЕННЯ СТАРІННЯ І СКОРОЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ ЖИТТЯ

Існує пряма кількісна залежність між скороченням тривалості життя і дозою іонізуючого випромінення. Проте, прискорення старіння і скорочення

тривалості життя не обов'язково повинні бути неминучими або наслідком один одного.

Старіння — це закономірний руйнівний процес вікових змін організму, властивий всім живим організмам на всіх рівнях організації, що веде до пониження його адаптаційних можливостей і збільшення імовірності смерті.

Старіння тварин на рівні організму виявляється у послабленні функцій основних фізіологічних систем (нервової, ендокринної, серцево-судинної, травної та ін.), зниженні контролю за їх діяльністю, зміні реактивності щодо дії гормонів, порушення на етапі надходження інформації в нервові центри.

Старіння рослин також характеризується послабленням функції основних фізіологічних систем (фотосинтезу, дихання, транспортування елементів живлення і метаболітів, водного обміну та ін.), розладом систем регуляції, послабленням реактивності щодо дії специфічних гормонів рослин — фітогормонів.

Усі перелічені процеси змінюються під впливом опромінення іонізуючої радіації і при високих її дозах пригнічуються нею, що й прискорює процес природного старіння організму і скорочення тривалості життя.

7. ЗАГИБЕЛЬ

При високих дозах опромінення, коли видужання від променевої хвороби неможливе, настає **загибель, або смерть, організму - припинення його життєдіяльності як цільної системи.**

Смерть теплокровних зумовлена передусім припиненням дихання і кровообігу. Виділяють два основних види смерті — клінічну й біологічну, або справжню. По закінченні періоду клінічної смерті, коли ще можливе повноцінне відновлення життєвих функцій, настає біологічна смерть — необоротне припинення фізіологічних процесів в клітинах і тканинах організму.

Окремі органи рослин мають автономність, що є однією з принципових властивостей, за якими розрізняють рослинні і тваринні організми. Рослини можуть зберігати деякі функції навіть при загибелі систем і органів, що мають високу чутливість до радіації. У них не настає при цьому загибелі усього організму як при ураженні деяких органів тварин. Навіть при високих дозах опромінення, що пригнічують поділ клітин опромінені рослини протягом кількох тижнів можуть зберігати життєдіяльність. Тому зареєструвати загибель рослини не завжди вдається досить швидко і достовірно (явні ознаки загибелі «рудого лісу», що отримав летальну дозу під час аварії на Чорнобильській АЕС протягом квітня – травня 1986 р., стали очевидними лише наприкінці року).

Оскільки причиною загибелі рослин є загибель їх меристем, її можна зареєструвати вже через 2–3 дні після опромінення в смертельних дозах через припинення поділу клітин. Можна констатувати загибель меристем по

специфічному побурінню кінчиків коренів та пагонів через 6–10 днів після опромінення.

8. ГЕНЕТИЧНІ ЗМІНИ

Соматичні ефекти виявляють тільки у **безпосередньо опроміненому організмі**. Генетичні, або спадкові, ефекти **передаються нащадкам**. Вони виникають внаслідок мутацій, тому їх називають ще мутагенними ефектами.

Мутація – це порушення, що виникають у спадковому матеріалі і призводять до зміни окремих ознак організму або навіть до виникнення нових ознак.

Іонізуюче випромінювання має здатність зумовлювати порушення у спадковому матеріалі і сприяти виникненню мутацій. Вони можуть призводити до появи у наступних поколіннях (до 15–20-го) організмів із зміненими властивостями — виродків.

Залежність кількості виниклих мутацій від дози іонізуючої радіації має лінійний або близький до лінійного характер. З одного боку, це свідчить про те, що ступінь генетичного ушкодження збільшується прямо пропорційно дозі, а з другого – на безпороговість цієї радіобіологічної реакції. Тобто, якою б малою не була доза опромінення, вона індукуватиме мутації. В цьому головна небезпека іонізуючих випромінень – при малих дозах організм не зазнаватиме ніяких соматичних ушкоджень, але вони можуть виявитись у його нащадків.

Мірою генетичної дії іонізуючих випромінень є доза, яка подвоює кількість мутацій. Для сільськогосподарських тварин-савців, деяких радіочутливих видів рослин діапазон цієї дози досить широкий – від 0,1 до 1 Гр. При підвищенні радіаційного фону, ступеня забруднення продуктів харчування і кормів радіоактивними речовинами ймовірність виникнення мутацій зростає.

Мутації, що виникають при опроміненні в статевих клітинах савців, можуть бути настільки серйозними, що плід, який формується з них, може стати нежиттєздатним і загинути. **Такі мутації називають летальними, тобто смертельними.** В інших випадках мутаційні зміни можуть бути сумісними з життям, але виявляються у вигляді виродків різного ступеня, спадкових хвороб. З підвищенням дози збільшується небезпека виникнення обох типів мутацій. Особливо велика вона для організмів, що пережили променеву хворобу середнього та важкого ступенів.

9. БЛИЗЬКІ І ВІДДАЛЕНІ НАСЛІДКИ РАДІАЦІЙНОГО УРАЖЕННЯ

До близьких ефектів належать ті, які виявляються в перші години, дні, тижні, місяці після опромінення. До близьких наслідків радіаційного ураження відносять радіаційну стимуляцію, яка виявляється одразу після опромінення; більшість морфологічних змін у тканинах і окремих органах, що виникають протягом перших днів, тижнів післярадіаційного періоду;

гостру променеву хворобу всіх ступенів тяжкості, що розвивається протягом 1-1,5 місяця, і загибель.

Віддаленими наслідками радіаційного ураження ссавців вважають злоякісні новоутворення — лейкози, ракові пухлини, променеву катаракту, нефросклероз — хвороба, що виникає внаслідок морфологічного переродження тканин і судин нирок при ураженні їх радіоактивними речовинами при їх виведенні з організму, а також скорочення тривалості життя і прискорення старіння, що реалізується в останні періоди життя.

До найвіддаленіших наслідків опромінення як у тварин, так і в рослин відносять **генетичні ефекти**.

Віддалені наслідки променевого ураження мають вірогідний, або випадковий, характер. Завбачити віддалені наслідки опромінення у якомусь конкретному організмі неможливо, їх можна передбачити на основі статистичного аналізу в опроміненій популяції організмів і виразити чисельність уражених осіб у процентах або визначити кількість уражених осіб на тисячу, мільйон. Ймовірність прояву віддалених наслідків радіаційного ураження зростає із збільшенням дози опромінення.

Проте не тільки від дози випромінень залежить прояв радіобіологічних ефектів. Так, дози, що стимулюють ріст і розвиток рослин родини хрестоцвітих, згубні для рослин родини бобових. Дози, безпечні для комах, смертельні для всіх тварин класу ссавців. Тобто, ефекти визначаються чутливістю організмів до іонізуючої радіації, або їх радіочутливістю.

10. РАДІОЧУТЛИВІСТЬ ОРГАНІЗМІВ

У радіобіології рівноправними є два терміни, що характеризують відношення організму до іонізуючих випромінень, — радіочутливість і радіостійкість. Вони взаємозв'язані і з різних боків характеризують одне явище. Якщо організм має високу радіочутливість, то він характеризується низькою радіостійкістю, і навпаки. Проте ці терміни треба розрізняти.

Радіочутливість організму — це його здатність реагувати на мінімальні дози іонізуючої радіації.

Радіостійкість — це здатність організму переносити високі рівні опромінення. Якщо для характеристики радіостійкості можна використовувати рівні доз, при яких після опромінення певна частина організмів (наприклад ЛД₅₀ — півлетальна доза, при якій гине і, відповідно, виживає половина організмів) або гинуть всі (ЛД₁₀₀ — летальна доза), то оцінка радіочутливості поки що утруднена. Тому, характеризуючи радіочутливість різних організмів чи їх радіостійкість, звичайно застосовують один рівень доз.

10.1. Радіочутливість рослин

Іонізуюче випромінення на рослини діє по-різному. Найбільш радіочутливі рослинні організми — лілейні, соснові, найбільш радіостійкі — деякі види синьозелених водоростей.

Є відомості про радіочутливість більш як 3000 рослин, що належать до різних родин, родів, видів. Але вони здебільшого стосуються насіння — стадії розвитку рослин, в якій вони перебувають у стані глибокого спокою, тому виявляють високу стійкість як проти іонізуючих випромінень, так і проти інших шкідливих факторів. Варто тільки помістити насіння у вологе середовище при кімнатній температурі (18–22°C), як в них активізуються процеси обміну речовин і вони починають проростати. Радіочутливість дводенного проростка порівняно з насінням збільшується в десятки разів і лишається приблизно на тому ж рівні до кінця вегетації. В таблиці 24 наведено дані про радіочутливість насіння і вегетуючих рослин.

Найвища радіочутливість серед рослин і, мабуть, серед усіх живих організмів у лілії. Півлетальна доза для рослин лілії становить лише 0,5–1 Гр, а летальна – 2 Гр, стійкість же насіння лілії до радіації в 10–20 разів більша.

Чутливими до іонізуючих випромінень також є хвойні рослини, і насамперед сосна та ялина, для яких летальні дози становлять, відповідно, 4–6 і 5–10 Гр. Через це під час аварії на Чорнобильській АЕС загинув сосновий ліс на площі 600 га.

Серед сільськогосподарських культур найбільшу радіочутливість мають деякі представники родини бобових, а максимальну серед них – кінські боби. Для деяких сортів бобів півлетальні й летальні дози майже такі самі, як і для ялини. Досить чутливі до іонізуючої радіації злаки. А роди більшості овочевих, технічних культур мають порівняно високу радіостійкість, тобто низьку радіочутливість.

Максимальна радіостійкість серед вищих рослин у представників родини хрестоцвітих. Так, півлетальна доза для вегетуючих рослин та насіння редису становить, відповідно 50 і 2000 Гр.

Радіочутливість може істотно відрізнятись і в різних сортів. Так, для сортів пшениці півлетальні дози відрізняються в 3 рази, а для гороху – в 5 разів.

Надзвичайно висока радіостійкість у нижчих рослин – грибів, водоростей, лишайників. Найстійкішими серед усіх видів рослин є синьозелені водорості. Півлетальні дози для деяких з їх видів досягають 12–16 кГр.

10.2. Радіочутливість тварин

З відомостей про радіочутливість тварин важливими для людини є дані про ссавців. Наявні дані стосуються передусім дрібних лабораторних тварин. Менше відомостей є про радіочутливість великих тварин, дослідження яких пов'язані із значними витратами. Приблизними є також дані про радіочутливість людини, що ґрунтуються на випадкових даних, здобутих під час аварій, в умовах яких точна дозиметрія просто неможлива.

Для більшості родів ссавців півлетальна доза не перевищує 5–8, а летальна – 9–10 Гр. До найбільш радіочутливого виду сільськогосподарських тварин відносять овець, мінімальне значення $ДЦ_{50/30}$ для яких становить лише 1,5 Гр, а до найбільш радіостійких – кролів, $ЛД_{50/30}$ для яких досягає 8–10 Гр, при цьому радіочутливість молодих тварин вища, ніж дорослих.

Найбільш радіостійким представником ссавців є монгольська піщанка з підродини хом'якових, півлетальна доза для якої досягає 13, а летальна – 18 Гр.

Більшу радіостійкість ніж ссавці мають птахи. Півлетальні дози для більшості їх видів складають 8–25 Гр. Для різних порід курей ці дози коливаються від 10 до 15 Гр, качок – від 12 до 16, риб – від 5 до 20 Гр.

Для амфібій вони трохи вищі – до 25–30 Гр. Широко варіюють ці дози і для плазунів: для найбільш радіочутливих представників цього класу – черепах 15–20, а для найбільш радіостійких – змій 80–200 Гр.

Набагато вищу радіостійкість виявляють безхребетні тварини. Для більшості видів комах півлетальна доза становить 50–300, а летальна – 100–500 Гр, хоч для деяких видів вона може досягати 1000 Гр. Радіочутливість комах дуже залежить від стадії їх розвитку. Наприклад, для 3–годинних яець дрозофіли півлетальна доза дорівнює лише 2 Гр, для 4–годинних – 5, для 7,5–годинних – 8, для лялечок – 20–65, а для дорослої особини – 95 Гр.

Для молюсків півлетальні дози варіюють від 20 до 200 Гр, для членистоногих – від 100 до 1000 Гр, для кишковопорожнинних – від 50 до 2500 Гр, для простих (амеб, інфузорій) – від 1000 до 3000 Гр.

10.3. Радіочутливість риб

Риби найбільш радіочутливі в ембріональній стадії свого розвитку. Коефіцієнти накопичення радіонуклідів ікрою риб залежать від типу радіонукліда і виду риб і коливаються від 1,2 для ^{90}Sr в ікрі щуки до 40,5 для ^{144}Pr в ікрі лина (з розрахунку на сиру масу ікри). Поглинені дози випромінення, за весь період розвитку ікри від її відкладення до виходу мальків, в разі об'ємної активності у воді радіонуклідів $3,7 \cdot 10^4$ Бк/л (10^{-6} Кі/л) коливаються від 0,001 Гр (0,1 рад) для ікри лина й окуня в розчині $^{106}\text{Ru} - ^{106}\text{Rh}$ до 0,03 Гр (30 рад) для ікри окуня в розчині $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$. Такі низькі дози зумовлені малими розмірами ікринок і невеликими значеннями коефіцієнтів накопичення радіонуклідів, що в свою чергу пояснює відсутність відмінностей щодо контролю у швидкості розвитку ембріонів і кількості нормальних чи аномальних личинок, що виходять з ікри при її перебуванні у воді, де об'ємна активність радіонуклідів становить $(0,037-3,7) \cdot 10^6$ Бк/л ($10^{-5}-10^{-4}$ Кі/л). Ікра певних видів риб стійка і до більших доз випромінення. Зокрема, для ікри щуки, що розвивалася в розчині $^{90}\text{Sr} - ^{90}\text{Y}$ активністю $3,7 \cdot 10^7$ Бк/л (10^{-3} Кі/л) цих радіонуклідів, встановлено лише дворазове збільшення виходу виродливих мальків (до 21 % порівняно з 10 % у контролі). Це пояснюється тим, що дози, отримані ікрою за період розвитку в розчині радіонуклідів, малі і становлять не більш ніж 0,3 Гр. Водночас в разі гострого одноразового опромінення ікри лина на стадії двох бластомерів загибель личинок можна зареєструвати лише за щоглиненої дози 2 Гр і вище, а деяке підвищення виходу аномальних форм — при 0,5 Гр і більше.

Вплив у ембріональний період (на стадії ікри) поглиненої дози випромінення 0,25–2,5 Гр не супроводжується підвищенням радіочутливості мальків що вивелися, до наступного опромінення. При наступному одноразовому

гострому опроміненні таких мальків в дозі 40 Гр виявляється, що найбільш радіочутливими будуть ті з них, які взагалі не були опромінені, і ті, котрі зазнали впливу сумарної дози 2,5 Гр. Мальки ж, що отримали дозу опромінення 0,25–1 Гр, виявляються більш радіорезистентними, ніж неопромінені. Такий ефект попереднього опромінення на різні об'єкти добре відомий і, можливо, пов'язаний із іонізуючою стимуляцією, яка спостерігається внаслідок поглинання біологічними об'єктами відносно низьких доз.

Хронічне ж опромінення ікри риби, що розвивається, за поглиненої дози до 1 Гр не є небезпечним. Накопичення такої дози можливе при потужності поглиненої дози 0,1 Гр/добу в разі хронічного опромінення чи поверхневій активності радіонуклідів $(11,1-14,8) \cdot 10^{12}$ Бк/км², або $(3-4 \cdot 10^2)$ Кі/км².

10.4. Радіочутливість амфібій і рептилій

Особливості впливу радіоактивних речовин на риби майже цілком поширюються на різних амфібій (аксолотлів, жаб, тритонів та ін.), потрібно лише врахувати їхню більшу радіорезистентність. Кількість личинок, що розвиваються з ікри амфібій, також у багато разів перевищує таку, що необхідна для підтримання існування популяцій, і загибель частини їх унаслідок опромінення навряд чи матиме значення. За приблизними розрахунками? максимальні поглинені дози випромінення, що не спраштують вплив на життєздатність популяцій різних амфібій, становлять 0,1 Гр для одноразового й 10 Гр/рік для хронічного опромінення радіонуклідами, що істотно перевищує радіорезистентність риби.

Рептилії (змії, крокодили, вужі, черепахи) ще більш радіорезистентні, ніж амфібії. Для яєць рептилій поглинену дозу випромінення, що призводить до загибелі (10–50 %) зародків, оцінюють в 10 Гр, а для дорослих тварин – 10²Гр при одноразовому опроміненні і 10³–10⁴Гр при хронічному.

Тому в природних умовах забруднення територій радіонуклідами в кількостях, що не спричиняють загибелі лісів, якщо і можливий вплив на амфібій і рептилій, що там живуть, то насамперед шляхом зміни чисельності тварин чи рослин, якими вони живляться, ніж унаслідок несприятливого впливу на їхній організм.

10.5. Радіочутливість бактерій і вірусів

Найнижчу радіочутливість серед живих організмів мають бактерії роду мікрококкус, виявлені в каналі атомного реактора, де потужність дози опромінення становить близько 12 Гр/с, або понад 1 млнГр/добу. У цих умовах бактерія не тільки виживала, а й розмножувалась. У зв'язку з такою високою радіостійкістю ця бактерія дістала назву «мікрококкусрадіостійкий». Для більшості бактерій напівлетальні дози знаходяться в діапазоні 300–2000 Гр.

Спори бактерій ще стійкіші до опромінення. Але серед бактерій є представники, для яких напівлетальна доза набагато нижча (300–500 Гр). Так, для кишкової палички ЛД₅₀ становить 30–60 Гр.

Найбільша радіостійкість у вірусів – для них ЛД₅₀ коливається від 4000 до 8000 Гр. У стані спокою їх радіостійкість набагато вища. А летальні дози для них досягають 20 кГр. З урахуванням цих доз визначають дози для

радіаційної стерилізації матеріалів і препаратів медичного та ветеринарного призначення, знезаражування продукції рослинництва і тваринництва.

10.6. Радіочутливість рослинних угруповань

При дії іонізуючих випромінень на рослинні угруповання навіть при порівняно невисоких дозах в їх структурі можуть статися істотні зміни. Це пояснюється тим, що навіть слабке пригнічення росту й розвитку 1–2 видів рослин може спричинити порушення зв'язків між окремими видами і забезпечити сприятливі умови для розвитку інших видів. У цій ситуації небезпечнішим для фітоценозів є хронічне опромінення, а не гостре, оскільки діючи протягом кількох поколінь на рослину, воно призводить до нашарування постійних відхилень у розвитку того чи іншого виду. А після гострого одноразового опромінення фітоценоз у наступні роки може відновитися, наприклад, за рахунок насіння, що збереглося в ґрунті і має вищу радіостійкість.

Зміни у складі рослинних угруповань можуть виникати не тільки при інгібуючих, а й при стимулюючих дозах. Бо посилення росту і розвитку одних видів створює для них переваги у фітоценозі, що може супроводжуватись погіршенням екологічних умов для розвитку інших видів аж до їх повного випадання.

Основним фактором, що призводить до порушення зв'язків між різними видами рослин, є радіобіологічні реакції найбільш радіочутливих з них. Оскільки зміни фітоценозу виникають переважно внаслідок хронічного опромінення, потужність дози є важливішою характеристикою впливу, ніж загальна доза радіації. Безпечною для рослинного угруповання слід вважати таку потужність дози, при якій опромінення будь-якої тривалості не викликає його змін.

Зміни в структурі фітоценозу позначаються на біоценозі в цілому, впливаючи на його зоологічні та мікробні компоненти, різні регуляторні зв'язки між ними. Це, в свою чергу, може призвести до змін біоценозу регіону і навіть екосистеми.

Господарська діяльність людини замінює природні фітоценози на агроценози. Якщо у фітоценозі складний рослинний покрив, який сформувався історично, то в агроценозі, що створюється штучно, він, як правило, представлений одним сортом культивованої рослини. Чи означає це, що радіочутливість ценозу визначатиметься лише радіочутливістю вирощуваної культури? Значною мірою, але неповністю. В агроценозі, крім культивованої рослини, проростають бур'яни, радіостійкість яких, як правило, вища, ніж сільськогосподарських рослин. Найменше пригнічення їх росту може призвести до посилення розвитку бур'янів. При радіаційній стимуляції бур'янів пригнічення культурних рослин може бути ще більшим. Тому можна припустити, що в умовах навіть незначного підвищення радіаційного фону склад агроценозу та його продуктивність з часом можуть змінюватись. Це зумовлює формування зовсім іншого погляду на ефекти малих доз випромінень.

ТЕМА №4

РАДІОЕКОЛОГІЯ. ПРИРОДНІ І ШТУЧНІ ДЖЕРЕЛА ОПРОМІНЕННЯ

План

- 1. Радіоекологія. Природні джерела опромінення.*
- 2. Іонізуючі випромінювання в Космосі.*
- 3. Космічні промені.*
- 4. Штучні іонізуючі випромінювання.*

1. РАДІОЕКОЛОГІЯ. ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ОПРОМІНЕННЯ.

Радіоекологія — це розділ радіобіології, що вивчає концентрації та міграцію радіоактивних речовин в біосфері та вплив їх іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання. Сільськогосподарська радіоекологія — аналогічно в об'єктах сільськогосподарського виробництва і вплив їх на сільськогосподарські рослини і тварин.

Природні джерела опромінення:

- радіоактивні елементи й ізотопи (ядра у процесі радіоактивного розпаду випромінюють заряджені частинки та фотони високої енергії);
- космічні промені (проникають крізь товщу атмосфери до поверхні Землі);
- ультрафіолетові промені (складова світлового випромінювання Сонця).

2. ІОНІЗУЮЧІ ВИПРОМІНЮВАННЯ В КОСМОСІ.

Поля радіації в навколосемному космічному просторі складаються з трьох компонентів:

- потоки електронів і протонів, які виникають внаслідок корпускулярної радіації з матеріалами літальних апаратів;
- радіація, пов'язана зі спалахами на сонці, в якій є протони, альфа-частинки й частинки з великим зарядом та енергією;
- галактичне космічне випромінювання, що складається з протонів і часток з великою енергією і зарядом.

3. КОСМІЧНІ ПРОМЕНІ.

Космічні промені — потоки заряджених частинок і атомних ядер, які безперервно надходять на Землю з космічного простору.

Космічні промені поділяють на первинне і вторинне космічне випромінювання:

- первинне космічне випромінювання домінує на значних висотах у атмосфері — 20–30 км над рівнем моря. Воно складається переважно з протонів (92%), альфа-частинок (7%), нейтронів і швидких ядер легких елементів (1%);

– вторинне космічне випромінювання властиве малим висотам в атмосфері і виникає внаслідок взаємодії первинних променів з атомами речовин атмосфери і тропосфери. До складу цих променів входять електрони, позитрони, фотони і мезони.

4. ШТУЧНІ ІОНІЗУЮЧІ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

Штучні іонізуючі випромінювання зумовлені людською діяльністю.

Використання іонізуючих випромінювань у медицині — опромінення під час рентгенодіагностики, внаслідок вживання препаратів до складу яких, входять радіоактивні речовини, а також у ході радіаційної терапії при онкологічних та деяких інших захворюваннях. Щорічна середня доза опромінення, пов'язаного з методами медичного обстеження, становить 0,4–1,0 мЗВ;

Випробування ядерної зброї — супроводжується викидами значної кількості радіонуклідів, які виникають в результаті поділу урану і ядерних реакціях за участю нейтронів. Найбільшу небезпеку становлять штучні радіонукліди, які мають великі періоди напіврозпаду:

- ^{14}C = 5730 років;
- ^{137}Cs = 30 років;
- ^{90}Sr = 30 років;
- тритій = 12 років.

Щільність поверхневого забруднення поверхні Землі виражають Бк/м.

Промислові утворення радіонуклідів:

- залишки уражених матеріалів у вигляді териконів під час видобування урану;
- виробництво та використання фосфорних добрив (концентрування природних радіоактивних елементів);
- виробництво електроенергії на теплових електростанціях (вугілля містить у собі природні радіоактивні речовини, котрі під час спалювання його вивільняються і потрапляють у довкілля);
- торф'яні маси поверхневих і ґрунтових вод містять в собі природні радіоактивні речовини (під час видобування торію зростає і забруднення довкілля радіоактивними елементами).
- геотермальна енергетика є джерелом додаткового опромінювання у геотермальних водах продуктів перетворень важких радіоактивних елементів, особливо радону, які потрапляють у повітря.

ТЕМА №5

ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

План

- 1. Радіоактивні відходи*
- 2. Накопичення РАВ*
- 3. Державне об'єднання з поводження з радіоактивними відходами*
- 4. Утилізація РАВ*

1. РАДІОАКТИВНІ ВІДХОДИ

Основним нормативним документом України, що регламентує поводження з радіоактивними відходами, є Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку».

Відповідно до цього закону метою радіаційної безпеки при поводженні з радіоактивними відходами є захист людини і навколишнього природного середовища від неприпустимого радіаційного впливу у період, під час якого радіоактивні відходи являють собою потенційну загрозу.

До радіоактивних відходів (РАВ) відносять:

- будь-які розчини, вироби, матеріали й біологічні об'єкти, що містять радіонукліди з радіоактивністю, що перевищує допустимі рівні, якщо подальше використання їх не передбачається;
- відпрацьоване ядерне паливо, подальше використання якого не передбачається;
- відпрацьовані закриті джерела іонізуючого випромінювання.

2. НАКОПИЧЕННЯ РАВ

Нині в Україні накопичено 65,5 млн т радіоактивних відходів в урановидобувній і переробній промисловості; 70 тис. м³ залишків ядерного палива на сховищах атомних електростанцій; 1,1 млрд м³ радіоактивно забруднених відходів (залишків реактора і техніки, знятий шар ґрунту тощо) у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Великі обсяги радіоактивних відходів (понад 5 тис. м³) зберігаються також у сховищах Української державної асоціації „Радон”. Близько 85-90% усіх накопичених радіоактивних відходів є низько- та середньоактивними.

Головними місцями накопичення радіоактивних відходів є атомні станції, на яких здійснюються їх первинна переробка та тимчасове зберігання. На АЕС не існує повного циклу первинної переробки відходів відповідно до вимог норм, правил та стандартів з ядерної та радіаційної безпеки, що призводить до нераціонального використання сховищ та збільшує ризик радіаційних аварій. У 30-кілометровій зоні Чорнобильської

АЕС зберігається в тимчасових, не пристосованих для зберігання сховищах велика кількість радіоактивних відходів, серед яких є відходи ядерної енергетики.

Головним джерелом небезпеки у 30-кілометровій зоні Чорнобильської АЕС залишається об'єкт "Укриття", в якому зосереджені небезпечні радіоактивні речовини та ядерні матеріали, радіоактивність яких близько 20 млнКі.

3. ДЕРЖАВНЕ ОБ'ЄДНАННЯ З ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

Українське державне об'єднання з поводження з радіоактивними відходами «Радон» утворено Постановою Ради Міністрів УРСР від 21 грудня 1990 року і знаходиться в сфері управління Міністерства з питань надзвичайних ситуацій та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи. З 2006 року організаційно-правовою формою Об'єднання є корпорація. Метою діяльності Об'єднання є забезпечення реалізації інтересів держави, пов'язаних із поводженням з радіоактивними та іншими техногенними відходами, а також задоволення потреб населення, установ та підприємств будь-якої форми власності в послугах у галузі поводження з радіоактивними та іншими техногенними відходами.

Основним напрямом діяльності центральної служби радіаційної безпеки (ЦСРБ) УкрДО "Радон" є контроль за здійсненням заходів, що забезпечують безпечні умови праці та охорону навколишнього природного середовища при поводженні з РАВ на спецпідприємствах об'єднання.

ЦСРБ укомплектовано досвідченими спеціалістами в галузі радіаційної безпеки, сучасними приладами радіаційного контролю. Лабораторія Центральної служби акредитована в системі УкрСЕПРО. Для вирішення цих проблем УкрДО "Радон" об'єднало в своєму складі вісім спеціалізованих підприємств.

4. УТИЛІЗАЦІЯ РАВ

У світі накопичено більш 200 тис. тонн відпрацьованого ядерного палива. Щорічно до них додається ще 10-12 тис. тонн - від АЕС, медичних закладів, промпідприємств, дослідних центрів та ін. установ, пов'язаних із застосуванням радіоактивних матеріалів.

На території України накопичене більше 5 млрд т токсичних відходів, які покривають площу у 164 тис.га. Зберігається порядку 32 тис. куб. м низькоактивних, 1,7 тис. куб. м середньоактивних і 166 куб. м високоактивних твердих радіаційних відходів, а також понад 19 тис. куб. м рідкого відпрацьованого радіоактивного матеріалу. Згідно зі статтею 53 Закону України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку» перевезення на територію України радіоактивних відходів з територій інших держав забороняється, крім тих, що утворилися внаслідок послуг, які було

надано Україні іншою державою і на які поширюється дія контрактної угоди між ними щодо повернення таких відходів в Україну.

ТЕМА №3

НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ ТА ОРГАНІЗМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

План

- 1. Надходження радіонуклідів у сільськогосподарські рослини*
- 2. Надходження радіонуклідів у рослини з ґрунту*
- 3. Надходження радіонуклідів у організм сільськогосподарських тварин*
- 4. Накопичення радіонуклідів гідробіонтами*
- 5. Прогнозування надходження радіонуклідів у сільськогосподарські рослини та організм тварин*
- 6. Особливості ураження організму радіоактивними речовинами*

1. НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ

Рослини можуть нагромаджувати значні кількості радіоактивних речовин, концентрація яких у сільськогосподарських рослинах може у десятки разів перевищувати їх вміст у ґрунті, внаслідок чого стає неможливим використання врожаю для харчування людини або годівлі тварин.

При дослідженні цих закономірностей було виявлено, що стронцій поводить себе подібно до кальцію, а цезій — калію; що максимальна концентрація стронцій завжди у тих видів рослин і органах тварин, які багаті на кальцій (кальцієфіли — рослини родини бобових, деякі представники родин розоцвітих, жовтецевих; кісткова тканина тварин, шкаралупа яєць, черепашки моллюсків), а найбільша кількість цезій — у багатих на калій (калієфіли — картопля, буряки, капуста, кукурудза, овес, льон, виноград; м'язова тканина ссавців). Це пояснюється тим, що стронцій належить до другої головної підгрупи елементів періодичної системи Д. І. Менделєєва, як і кальцій, а цезій — до першої головної підгрупи, як і калій. Внаслідок цього стронцій має властивості, аналогічні кальцію, а цезій — калію. При цьому треба враховувати, що кальцій і калій належать до найбільш поширених природних елементів (кількість першого в земній корі дорівнює 2,96 %, другого — 2,5 %), а стронцій і цезій — до категорії мікроелементів.

2. НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У РОСЛИНИ З ҐРУНТУ

Ґрунт — сильний поглинач різних елементів, у тому числі й радіоактивних речовин. Найвищу здатність до поглинання має його поверхневий шар з основною частиною ґрунтового вбирного комплексу. Тому природні угіддя затримують основну масу радіоактивних речовин у поверхневому шарі фун-

ту, а на орних землях вони рівномірно розміщуються по всьому профілю шару ґрунту. їх залучення до біологічного кругообігу речовин зумовлене, з одного боку, міцністю зв'язку з частинками ґунту, а з другого — здатністю поглинатися корінням рослин.

Висока міцність зв'язування радіоактивних речовин характерна для важких ґунтів — чорноземів, каштанових, суглинків, багатих на органічні та мінеральні колоїди, які становлять основу вбирного комплексу. Мінімальна вона у легких піщаних ґунтів.

Щодо здатності коріння рослин поглинати радіоактивні речовини, то вона визначається багатьма факторами: специфікою виду, розвитком кореневої системи, фазою розвитку, фізіологічним станом рослин, вологістю ґрунту, наявністю в ньому поживних речовин. Поглинання радіонуклідів ґунтом та рослинами значно затримує їх вимивання і перенесення до ґрунтових вод, вони фіксуються біля поверхні ґрунту у зоні розміщення основної маси коріння.

3. НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У ОРГАНІЗМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

Надходження радіоактивних речовин у організм сільськогосподарських тварин відбувається через органи травлення (пероральний), дихання (інгаляційний) і крізь шкіру (перкутантний). Інгаляційний шлях надходження радіонуклідів має значення лише в період випадання радіоактивних опадів, незначним є й проникнення крізь шкіру. Основним шляхом їх надходження у тваринний організм є пероральний, тобто з кормами. Значно менше надходить їх з водою.

Радіоактивні речовини разом з кров'ю надходять в органи і тканини тварини, де частково затримуються, вибірково концентруючись в окремих органах. Але більшість їх відразу виводиться з організму.

4. НАКОПИЧЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ ГІДРОБІОНТАМИ

Рівень накопичення радіонуклідів визначається біологічними властивостями різних гідробіонтів. Серед гідробіонтів виділяють окремі види, які є специфічними щодо накопичення тих чи інших радіонуклідів. Порівняння різних груп гідробіонтів за їхньою накопичувальною здатністю показало, що рослини мають більші K_n , ніж тварини, а одноклітинні й нитчасті водорості накопичують радіонукліди більше, ніж вищі рослини.

У водоймищах радіонукліди активно поглинаються не тільки живими організмами, а й частинами тварин і рослин, що відмирають, при утворенні детриту.

Проведені численні дослідження K_n для штучних радіонуклідів за умов акваріума й природного озера дали схожі результати. При цьому з'ясувалося, що в природних умовах K_n , як правило, більший, ніж у лабораторних.

Результати більшості досліджень щодо вивчення залежності накопичення радіонуклідів від концентрації у воді ізотопних носіїв дають змогу стверджувати, що в зонах малих концентрацій (об'ємна активність радіонуклідів менше ніж $3,7 \cdot 10^5$ Бк/л, або 10-5 Ки/л) вміст елемента в гідробіонтах прямо пропорційний його концентрації у воді й, отже, K_n залишаються постійними. В зонах значних концентрацій (10^5-10^6 Г⁴ моль/л) спостерігається обернена залежність K_n від концентрації хімічного елемента у водній фазі.

5. ПРОГНОЗУВАННЯ НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ ТА ОРГАНІЗМ ТВАРИН

Існує кілька методів оцінки можливого забруднення врожаю сільсько-господарських культур радіоактивними речовинами.

Найпоширеніший з них полягає у використанні коефіцієнта накопичення (K_n) радіоактивних речовин продуктивними органами рослин, які ростуть на різних ґрунтах. За цим показником кількість радіонукліду в 1 кг сухої чи вологої речовини рослин дорівнюватиме добутку від множення його вмісту в 1 кг відповідно сухого чи вологого ґрунту на K_n . Порівнюючи це значення з допустимими рівнями забруднення даним радіонуклідом продуктів харчування, можна зробити висновок про можливість вирощування тієї чи іншої культури в даних умовах радіоактивного забруднення.

Цей метод можна використати для прогнозування нагромадження у рослинах ¹³⁷Сз і будь-яких інших радіонуклідів. Для цього слід знати значення їх K_n . Чим точнішими будуть значення K_n окремих радіоактивних ізотопів, тим з більшою точністю можна передбачити їх можливе накопичення в продукції рослинництва.

6. ОСОБЛИВОСТІ УРАЖЕННЯ ОРГАНІЗМУ РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ

При потраплянні в організм радіоактивних речовин, які зумовлюють внутрішнє опромінення, залежно від їх фізичних характеристик, кількості і тривалості перебування в організмі, можуть спостерігатися такі самі радіобіологічні ефекти, що й при еквівалентних поглинутих дозах зовнішнього опромінення: радіаційна стимуляція, морфологічні зміни, променева хвороба, прискорення старіння і скорочення тривалості життя, загибель, генетична дія. У 40-50-х рр., в умовах недостатньої кількості джерел зовнішнього опромінення у практиці сільського господарства користувалися розчинами різних радіоактивних ізотопів для індукції ефекту радіаційної стимуляції у рослин, а також практикували намочування

посівного матеріалу для одержання мутантів при селекційній роботі. При вирощуванні рослин на розчинах, які мають високі концентрації нуклідів з коротким періодом піврозпаду і досить жорстким випроміненням, наприклад ^{32}P , виникає типова променева хвороба. Вона супроводжується характерними порушеннями метаболізму і морфологічними змінами, які аналогічні із змінами при загальному зовнішньому опроміненні і можуть призводити до загибелі рослин і тварин.

ТЕМА №7

ВЕДЕННЯ РОСЛИННИЦТВА НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОАКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ ТЕРИТОРІЯХ

План

- 1. Основні принципи організації ведення сільського господарства на забруднених радіонуклідами територіях*
- 2. Засоби зниження надходження радіонуклідів у сільськогосподарські рослини*
- 3. Ведення особистого підсобного господарства в районах радіоактивного забруднення*

1. ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА ЗАБРУДНЕНИХ РАДІОНУКЛІДАМИ ТЕРИТОРІЯХ

Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях має здійснюватись згідно з положеннями концепції проживання населення на території України з підвищеними рівнями радіаційного забруднення внаслідок Чорнобильської катастрофи, з додержанням норм радіаційної безпеки і основних санітарних правил і забезпечувати виробництво продуктів харчування, вміст в яких радіоактивних речовин не перевищує допустимих рівнів.

У господарствах на забруднених радіонуклідами територіях необхідно вирішувати наступні завдання:

1. Виробництво сільськогосподарської продукції, споживання якої без обмежень не призведе до перевищення середньорічної ефективної еквівалентної дози опромінення людини 0,1 бер на рік понад дозу, яку вона отримувала у доаварійний період.
2. Впровадження у виробництво заходів щодо зменшення вмісту радіонуклідів у продукції до рівня, що не перевищує встановлених рівнів, з урахуванням їх економічної доцільності.
3. Проведення протиерозійних заходів запобігання міграції радіонуклідів на незабруднені угіддя, у водойми, на території населених пунктів тощо.

Зональний принцип ведення сільськогосподарського виробництва залежно від щільності забруднення угідь не є підставою для вирішення питань про

евакуацію чи реевакуацію населення, проведення тих чи інших робіт. Тому точнішим показником має бути величина поглинутої населенням ефективної еквівалентної дози як головного чинника, що визначає радіобіологічні ефекти.

2. ЗАСОБИ ЗНИЖЕННЯ НАДХОДЖЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ РОСЛИНИ

Залежно від властивостей ґрунту і ступеня його забруднення радіоактивними речовинами, а також виду сільськогосподарських культур, шляхів використання врожаю та інших умов застосовують різні засоби, які можуть забезпечити зменшення радіоактивності продуктів рослинництва. За однією класифікацією вони поділяються на дві групи:

- 1) загальноживані у сільському господарстві;
- 2) спеціальні.

За іншою класифікацією розрізняють засоби механічні, агротехнічні, хімічні, агрохімічні та біологічні. Такий поділ їх звичайно умовний, оскільки на практиці важко визначити межу між механічними та агротехнічними засобами, хімічними й агрохімічними, агротехнічними та біологічними тощо. Крім того, при організації та проведенні заходів щодо запобігання надходженню радіоактивних речовин у рослини, як правило, доводиться мати справу з комплексом засобів, які технологічно тісно пов'язані між собою. Тому доцільно визначити п'ять головних комплексних систем зниження надходження радіоактивних речовин у рослини: 1) обробіток ґрунту; 2) застосування хімічних меліорантів і добрив; 3) зміна структури сівозміни; 4) управління режимом зрошення; 5) внесення спеціальних речовин і сполук.

3. ВЕДЕННЯ ОСОБИСТОГО ПІДСОБНОГО ГОСПОДАРСТВА В РАЙОНАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

Основні вимоги щодо ведення рослинництва і тваринництва на забруднених радіонуклідами територіях поширюються і на особисті підсобні господарства. Для безпеки проживання сільського населення при постійному споживанні в їжу місцевих продуктів харчування треба виконувати певні роботи. У рік випадання радіоактивних опадів доречно провести дезактивацію садиби — зняти і поховати верхній 5-см шар ґрунту. За допомогою цього заходу вдається знизити радіаційний фон і зменшити в подальшому забруднення рослин інколи в десятки разів.

На кислих ґрунтах раз у 4-5 років, після збирання врожаю, внести гашене вапно на всю площу присадибної ділянки, саду чи городу з розрахунку 50 кг на 100 м², після чого ґрунт перекопати або переорати. На ділянках під картоплю рекомендується дозу вапна зменшити в 2 рази. Можна використовувати й інші вапняні матеріали, але при визначенні дози слід враховувати вміст вапна в тому чи іншому матеріалі.

Треба збільшити норми фосфорних і калійних добрив, але лишити без зміни норми азотних. Найдоцільнішим для забруднених радіонуклідами ґрунтів слід вважати відношення азоту до фосфору і калію як 1:1,5:2 від норм, що рекомендовані для даних умов. Рівномірно розподілити добрива по поверхні ґрунту і перекопати на глибину 20-25 см. Під картоплю треба вносити половину зазначених доз.

ТЕМА №8

ВИКОРИСТАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У РОСЛИННИЦТВІ

План

- 1. Використання іонізуючих випромінювань у лісовому і сільському господарстві.*
- 2. Радіаційний мутагенез і отримання нових сортів сільськогосподарських рослин.*
- 3. Підвищення продуктивності сільськогосподарських рослин за допомогою іонізуючих випромінювань.*
- 4. Іонізуюче випромінювання ізберігання продукції рослинництва.*
- 5. Радіоактивні індикатори в агрономічних дослідженнях.*

1. ВИКОРИСТАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У ЛІСОВОМУ І СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.

Визначення поняття радіаційно-біологічної технології. Радіаційна техніка, яка використовується в сільському господарстві.

Шляхи використання іонізуючих випромінювань у рослинництві:

- передпосівне опромінення насіння лісових і сільськогосподарських культур для прискореного проростання, розвитку і збільшення продуктивності рослин;
- передсадивне опромінення органів вегетативного розмноження і розсади для прискореного розвитку і збільшення продуктивності рослин;
- опромінення насіння і рослин для одержання нових форм, сортів і гібридів;
- радіаційна біотехнологія у подоланні несумісності тканин і стимуляції зростання при вегетативному щепленні рослин;
- радіаційна технологія запобігання проростання бульб, коренеплодів і цибулин при їх зберіганні;
- продовження строків зберігання ягід, фруктів і овочів, опромінених іонізуючою радіацією;
- радіаційна консервація продукції рослинництва і плодівництва;
- радіаційні способи боротьби з комахами, шкідниками сільськогосподарських рослин;
- радіаційна технологія поліпшення якості лікарських рослин.

Шляхи використання іонізуючих випромінювань у тваринництві:

- радіаційне консервування кормів і поліпшення їх якості;
- радіаційна технологія продовження строків зберігання м'яса і м'ясних продуктів;
- радіаційне знезараження деяких видів продукції тваринництва;
- радіаційне знезараження стічних вод тваринницьких комплексів.

2. РАДІАЦІЙНИЙ МУТАГЕНЕЗ І ОТРИМАННЯ НОВИХ СОРТІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН.

Радіаційний мутагенез – один з головних методів отримання різноспектрових мутацій сільськогосподарських рослин, які використовуються для подальшої селекційної роботи. Отримані радіомутанти відрізняються вищою урожайністю, мають високу стійкість до полягання, стійкість до різних інфекційних хвороб, підвищений вміст білка та ін. На основі отримання радіомутантів виведено біля 200 нових сортів сільськогосподарських рослин:

- пшениця;
- ячмінь;
- кукурудза;
- рис;
- арахіс;
- овочеві культури (капуста, томати, столові буряки, гарбузи);
- ягідні культури (суниця, смородина, голубика);
- плодові культури (яблуня, груша, вишня, черешня).

Відносно високі дози іонізуючих випромінювань визивають у потомстві опромінених рослин різні спадкові змінювання – мутації. Більшість отриманих мутацій мають негативні ознаки. Але селекціонер може відібрати серед цих рослин екземпляри з цінними для подальшої селекційної роботи ознаками – форми з підвищеною урожайністю, високим вмістом білка, більш стійкі до погодних умов, хвороб тощо.

Радіаційна селекція у рослинництві включає два етапи:

- використання іонізуючих випромінювань для отримання максимальної кількості вихідного матеріалу для подальшої селекційної роботи;
- на основі отриманих радіаційних етапів проводиться селективна робота з виведення нового сорту, його випробування, розмноження і впровадження в практику.

3. ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ РОСЛИН ЗА ДОПОМОГОЮ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ.

Відомо, що при малих дозах іонізуючого випромінювання проявляється стимуляція росту та розвитку рослин. Так передпосівне опромінювання насіння польових культур (пшениця, кукурудза, овес, ячмінь та ін.) має здатність прискорювати з'явлення сходів, тобто проростання насіння, прискорення квітування та підвищення врожайності зерна та зеленої маси.

На сьогодні накопичені фактори, які свідчать про позитивний вплив радіації на ріст і розвиток рослин, особливо набирає перспективності опромінення насіння сільськогосподарських рослин гамма-квантами. Джерелом опромінення, при цьому використовується ^{60}Co або ^{137}Cs .

Передпосівне опромінювання насіння та вегетативних органів рослин може бути широко використане у практиці сільського господарства:

а) як фактор впливу на життєдіяльність сільськогосподарських рослин:

- для підвищення врожайності сільськогосподарських культур;
- прискорення дозрівання насіння;
- зберігання плодоовочевої продукції;
- подавлення імунної несумісності при щепленнях;
- покращення якості сільськогосподарської продукції;
- стимулятивний ефект.

б) Отримання вихідного матеріалу для виведення нових сортів:

- урожайність;
- засухостійкість;
- стійкість до хвороб;
- відгук на використання мінеральних добрив;
- радіостійкість.

в) використання іонізуючих випромінювань у технологічних процесах:

- продовження строків зберігання сільськогосподарської продукції;
- покращення якості у сільськогосподарській продукції;
- консервування кормів;
- покращення якості кормів;
- стерилізації препаратів для тваринництва і ветеринарії;
- покращення складу низькосортної муки;
- прискорення дозрівання коньячного спирту;
- стерилізація гамма-променів.

4. ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ І ЗБЕРІГАННЯ ПРОДУКЦІЇ РОСЛИНИЦТВА.

Обробка отриманого врожаю сільськогосподарських рослин іонізуючим випромінюванням при визначеному дозуванні дозволяє збільшити строки зберігання без істотних змінювань його якості.

В даному випадку шляхом опромінювання можна:

- затримати проростання бульб картоплі у процесі їх зберігання;
- проводити стерилізацію плодів та овочів;
- проводити пастеризацію плодів та овочів.

Опромінення бульб картоплі дозою 10000 Рад повністю подавляє їх проростання, але при цьому не мають ознаки стійкості проти мікроорганізмів. Тому оптимальною дозою, яка зменшує проростання бруньок у бульбах картоплі і сприяє залишенню ознаки стійкості проти мікроорганізмів є 7000–8000 Рад.

5. РАДІОАКТИВНІ ІНДИКАТОРИ В АГРОНОМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ.

Радіоактивні ізотопи використовуються у дослідженнях з рослинами в агрономічній практиці. Використовують радіонукліди з таким періодом напіврозпаду, який дозволяє проводити дослідження з рослинами протягом всього вегетаційного періоду.

Метод радіоактивних індикаторів використовують у тих випадках, коли звичайним способом, тобто традиційною методикою, не можна визначити кінетику утворення проміжних продуктів у рослинах і ґрунті.

Цей метод отримав розповсюдження у дослідях з вивчення ефективності різних строків і способів внесення у ґрунт добрив (головним чином фосфорних). Він дає змогу безпосередньо визначати кількість мікро- і макроелементів, які засвоюють рослини з мічених добрив і з ґрунту.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Базова

1. Гудков І. М. Сільськогосподарська радіобіологія / І. М. Гудков, М. М. Віннічук. – Житомир: Вид-во ДАУ, 2003. – 470 с.
2. Гудков І. М. Основи сільськогосподарської радіобіології і радіоекології / І. М. Гудков, Г. М. Ткаченко. – К.: Вища школа, 1993. – 262 с.
3. Гудков И. Н. Практикум по сельскохозйственнорядиобиологии / И. Н. Гудков, Г. М. Ткаченко, В. Е. Кицно – К.: Изд-во УСХА, 1992. – 207 с.
4. Гігієнічні регламенти та основні правила радіаційної безпеки. Методичні вказівки для студентів агробіологічних спеціальностей. – К.: Вид-во НАУ, 1998. – 50 с.
5. Гродзинський Д. М. Радіобіологія / Д. М. Гродзинський. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
6. Давиденко В. М. Радіобіологія / В. М. Давиденко. – Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. – 265 с.
7. Дудок К. П., Старикович Л. С., Дацюк Л. О. Радіобіологія: Навчально-методичний посібник / К. П. Дудок, Л. С. Старикович, Л. О. Дацюк. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, – 2007. – 118 с.
8. Кіцно В. О. Основи радіобіології та радіоекології: Навч. посіб. – 2-е видання / В. О. Кіцно, С. В. Поліщук, І. М. Гудков. – К.: «Хай-Тек Прес», 2009. – 320 с.
9. Кутлахмедов Ю. О. Основи радіоекології: Навч. посіб. / Ю. О. Кутлахмедов, В. І. Корогодін, В. К. Кольтовер; За ред. В. П. Зотова. – К.: Вища шк., 2003. – 319 с.
10. Сонько С. П. Надзвичайні ситуації та цивільний захист населення. Навчальний посібник / С. П. Сонько, С. С. Пліщенко, О. М. Голубкіна, Н. В. Віннік, Д. В. Шиян, А. В. Діхтяренко. За ред. проф. С. П. Сонька. – Львів: «Магнолія – 2006», 2010. – 277 с.

Допоміжна

1. Бударков В. А. Радиобиологический справочник / В. А. Бударков, В. А. Киршин, А. Е. Антоненко. – Минск: Ураджай, 1992. – 386 с.
2. Гудков И. Н. Основы общей и сельскохозйственнорядиобиологии / И. Н. Гудков. – Киев: УСХА, 1991. – 322 с.
3. Израэль Ю. А. Чернобыль: радиоактивное загрязнение природных сред / Ю. А. Израэль, С. М. Бакуловский, В. А. Ветров. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 152 с.
4. Дворецкий А. И. Трансмембранный перенос ионов при действии ионизирующей радиации / А. И. Дворецкий, С. Н. Айрапетян, А. М. Шаинская, Е. Е. Чебстарев. – К.: Наукова думка, 1990. – 136 с.

5. Дудок К.П. Радиобіологія: Навчально-методичний посібник / К. П. Дудок, Л. С. Старикович, Л. О. Дацюк. – Львів: Вид. центр ЛНУ імені Івана Франка, - 2007. – 118с.
6. Журавлѐв В. Ф. Токсикологиярадиоактивныхвеществ / В. Ф. Журавлѐв. – М.: Энергоатомиздат, 1989. –264 с.
7. Ильенко А. И. Экологияживотных в радиационномбиоценозе / А. И. Ильенко, Т. П. Крапивко. – М.: Наука, 1989.
8. Пристер Б. С. Основысельскохозяйственнойрадиологии / Б. С. Пристер, Н. А. Лоцилов, О. Ф. Немец, В. А. Поярков. – К.: Урожай, 1991. – 470 с.
9. Радиобиологическиеаспектыаварии на Чернобыльской АЭС / Я. И. Серкиз, В. Г. Пинчук, Л. Б.Пинчук. – К.: Наукова думка, 1992. – 172 с.

Інформаційні ресурси.

1. <http://www.rupest.ru/ppdb/ld50.html> – розрахунок ЛД50 методом пробітаналізу
2. http://bgd.alpud.ru/_private/Radiaziya/X_4_dozi.htm - дозиметричні величини
3. <http://www.tnu.in.ua/study/books.php?do=file&id=3866>– Кудряшов Ю.Б., Беренфельд Б.С. Основы радиационнойбиофизики. – М.: Из-воМГУ, 1982. – 304с.
4. <http://www.tnu.in.ua/study/books.php?do=file&id=3910>–Ярмоненко С.П. Радиобиологиячеловека и животных. – М.: Высшая школа, 1988. – 424 с.
5. <http://moikompass.ru/compass/radiation>– Вплив іонізуючого випромінювання на процеси старіння
6. <http://www.altermed.ru/articles.php?cid=3329> – Променева хвороба
7. <http://www.tnu.in.ua/study/books.php?do=file&id=3643> – Коггл Дж. Биологическиеэффектырадиации
8. <http://www.tnu.in.ua/study/books.php?do=file&id=3941> – Хуг О., Келлерер А. Стохастическаярадиобиология