

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет технології виробництва і переробки продукції тваринництва,
стандартизації та біотехнології

Кафедра птахівництва, якості та безпеки продукції

РАДІОБІОЛОГІЯ

Методичні рекомендації

щодо виконання практичних робіт з дисципліни для здобувачів вищої освіти
ступеня «бакалавр» напрямку 204 «ТВППТ» денної форми навчання



Миколаїв

2017

УДК 577.43

ББК 40.152

P15

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету технології виробництва і переробки продукції тваринництва, стандартизації та біотехнології Миколаївського національного аграрного університету від 27.02.2017р., протокол № 6.

Укладачі:

О. О. Стародубець – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції

В. І. Гроза – канд. с.-г. наук, асистент кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції

Рецензенти:

Т. В. Підпала – д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри технології переробки, стандартизації і сертифікації продукції тваринництва Миколаївського національного аграрного університету;

О. І. Петрова – канд. с.-г. наук, доцент, доцент кафедри технології виробництва продукції тваринництва Миколаївського національного аграрного університету.

©Миколаївський національний аграрний
університет, 2017

ЗМІСТ

Вступ	5
Модуль 1. Радіоактивні речовини і радіація	7
Тема 1. Вступ. Техніка безпеки.	7
Тема 2. Форми радіації. Їх характеристика. Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами	11
Модуль 2.Радіометрія і радіаційна безпека	21
Тема 3.Рівні радіаційного забруднення та форми моніторингу.Правила відбору проб для визначення радіаційного забруднення	21
Тема 4.Основні принципи захисту при роботі з закритими та відкритими джерелами опромінення	27
Тема 5.Радіометрія, дозиметрія іонізуючих випромінювань	29
Модуль 3. Чутливість рослин і тварин до іонізуючого опромінення	34
Тема 6. Дія іонізуючого випромінювання на основні молекулярні компоненти клітини і процеси метаболізму	34
Тема 7. Вимоги до облаштування і організації роботи у радіологічних лабораторіях	41
Тема 8. Класифікація радіобіологічних ефектів.	45
Тема 9. Морфологічні та генетичні зміни під впливом іонізуючого випромінювання	50
Модуль 4. Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях	53
Тема 10. Заходи спрямовані на поліпшення рослинництва і тваринництва на забруднених територіях	53
Список літератури	63

Вступ

Завданням радіобіології є вивчення закономірностей біологічної дії іонізуючих випромінювань на живий організм з метою 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.

Суть дисципліни.*Радіобіологія*, або радіаційна біологія — це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі організми та їх угруповання. Вона межує з науковими дисциплінами, що досліджують біологічну дію низько-енергетичних хвиль, а також радіохвиль міліметрового і сантиметрового діапазонів, таких як фітобіологія, біофізика тощо.

Основні завдання лісової і сільськогосподарської радіобіології — 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.

Структурно-логічне місце. Сучасна радіобіологія – це комплексна галузь знань, яка складається з окремих напрямків, основними з яких є: медична радіобіологія, радіаційна екологія, сільськогосподарська радіобіологія, лісова радіобіологія в яку самостійною дисципліною входять ветеринарна радіобіологія, радіаційна генетика, радіаційна цитологія, радіаційна біохімія, радіаційна біофізика, космічна радіобіологія.

Кожний з цих напрямків має конкретний предмет вивчення і певні завдання.

Метою викладання даного курсу є підготовка фахівців - зооінженерів, які б вміли використовувати досягнення ядерної фізики

і атомної енергетики в сільськогосподарському виробництві, а також здатних розробляти заходи, які забезпечують ведення сільськогосподарства і одержання певних видів продукції в умовах радіоактивного забруднення території, які б не загрожували здоров'ю людини тощо.

Як результат вивчення радіобіології 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;
- вміти використовувати досягнення ядерної фізики і атомної енергетики у рослинництві;
- вміти розробляти способи захисту агрофітоценозів від ураження радіоактивного випромінювання та ін.

Модуль 1. Радіоактивні речовини і радіація

Тема 1. Вступ. Техніка безпеки.

Ще в середині 80-х рр. минулого століття далеко не кожен біолог і лікар, не говорячи вже про фахівців, не зв'язаних з біологією, достатньо чітко уявляв, чим займається наука радіобіологія. З весни 1986 р. ситуація змінилася. У періодичній пресі, науково-популярних виданнях з'явився безліч статей, брошур, присвячених питанням дії іонізуючої радіації на людину й інші живі організми, біосферу в цілому. Великий контингент людей у всіх країнах світу, раніше далеких від біології, медицини, охорони навколишнього середовища, ядерної фізики, атомної енергетики й інших областей науки і виробництва, у тій чи іншій мірі дотичних із проблемами радіобіології, виявили до неї незвичайний інтерес. Причиною тому стали грізні, повні драматизму події на Чорнобильській АЕС. Якщо ще раз, дещо з іншого погляду, простежити історію розвитку радіобіології, то можна легко побачити чіткі піки і спади інтересу до неї. Причому піки завжди наставали за трагічними подіями.

Перший пік щодо масової цікавості до радіобіології приходиться на середину 1930-х рр., коли в широкій пресі різних країн були опубліковані статті і книги, що узагальнили початковий досвід натуралістів, котрі працювали з рентгенівськими променями і випромінюванням радію. Саме тоді, з легкої руки журналістів, з'явилися і зустрічається до тепер лиховісні терміни «промені смерті», «промені-убивці». Але з'ясувалося, що їхніми жертвами стає в основному невелике коло допитливих або «цікавих» учених, котрі добровільно йдуть на контакт із такими променями, які для населення небезпеки не являють. Тому інтерес громадськості до іонізуючої радіації, а разом з тим і до проблем радіобіології, як і всіх наук, зв'язаних з нею, упав.

Трагічні події в Японії в серпні 1945 р., коли в результаті вибухів двох атомних бомб відразу загинули сотні тисяч мирних жителів, викликали другий пік загальної уваги до радіобіології в усьому світі. Але закінчилася війна, Хіросіма і Нагасакі більше не повторювалися і до середини 1950-х років інтерес до неї знову знизився.

До початку 1960-х рр. він знову різко зріс. Причиною тому були масові випробування атомних бомб, зв'язані з ними трагічні події з людськими жертвами, а головне, різке підвищення на всій планеті

радіаційного фону. Але із заборонаю на вибухи атомних бомб у трьох середовищах знизилася імовірність виникнення ядерної війни і знову інтерес громадськості й урядів до радіобіології невинувато згас. Аварія на Чорнобильській АЕС стимулювали його знову з надзвичайною силою. Однак уже сьогодні навіть у країнах, найбільшою мірою потерпілих від аварії, знову відзначається зниження інтересу до її наслідків, що заохочується владою, яка уповає на самоочищення біосфери від радіоактивних речовин, адаптацію населення до малих доз радіації. Багатьма аварія на Чорнобильській АЕС розглядається як випадковість, неймовірний збіг обставин, повтор яких практично неможливий. Хоча аварія в Японії на АЕС «Фукусіма» у 2011 р. показала, що це не так. Головною причиною такого нерівного інтересу до радіобіології є одностороннє розуміння її задач, асоціювання їх тільки з атомною загрозою – наслідками можливого ядерного конфлікту або аваріями на підприємствах атомної енергетики. Однак, як можна було переконатися на основі вищесказаного, радіобіологія – наука надзвичайно різноаспектна і багатопланова. Багато які її задачі і проблеми дійсно тією чи іншою мірою зв'язані з ліквідацією наслідків ядерних катастроф, і було б невірним стверджувати, що це другорядна задача радіобіології. Але в нашу епоху ядерна небезпека існує не тільки у вигляді атомних бомб і боєголовок, підводних човнів і криголамів з атомними двигунами, дослідницьких і промислових ядерних реакторів та атомних електростанцій. Атом енергійно впроваджується в повсякденний побут разом з найбільш чутливою і точною методикою вченого, як найтонший і незамінний інструмент лікаря, новітня прогресивна технологія, агротехнічний прийом. Недотепне або просто неграмотне поводження з таким методом, інструментом, технологією може привести до сумних наслідків. От чому знання основ радіобіології в наш час стало необхідним не тільки вченим-натуралістам, але й кожній людині, зайнятій в сфері виробництва матеріальних і духовних цінностей. От чому радіобіологія міцно стає в ряд наук першорядного значення, у ряд як загальноосвітніх, так і спеціалізованих дисциплін поряд з деякими іншими біологічними науками, математикою, фізикою, хімією.

Дезактивація робочих приміщень і обладнання

1. Радіоактивні забруднення зовнішніх поверхонь обладнання, інструментів, лабораторного посуду, поверхонь робочих приміщень і відділень для зберігання спецодягу не має перевищувати

- допустимих рівнів загального забруднення, що встановлені НРБУ-97.
2. Щоденно проводять вологе вбирання. Сухе прибирання виробничих приміщень, за винятком вакуумного, забороняється.
 3. Не рідше 1 раз протягом місяця генеральне прибирання з дезактивацією стін, підлоги, дверей і зовнішніх поверхонь устаткування.
 4. Робочий інвентар закріплюється за приміщенням для роботи кожного класу і зберігається в спеціально відведених місцях.
 5. У приміщеннях постійного перебування персоналу, де працюють з джерелами відкритому вигляді, має бути передбачений сталий запас дезактивуючих засобів і миючих розчинів, що добираються з урахуванням властивостей радіонуклідів та їхніх сполук, з якими йде робота, а також характеру поверхонь, що підлягають дезактивації.
 6. Після закінчення робіт кожен працівник має прибрати своє робоче місце і при потребі дезактивувати устаткування, інструмент, робочий посуд, які були задіяні в процесі роботи з відкритими джерелами.
 7. У разі забруднення радіоактивними речовинами приміщень або їх окремих ділянок негайно приступають до дезактивації. Якщо забруднення трапилось порошковою сухою речовиною, то його збирають злегка вологою ганчіркою, попередньо вимкнувши вентиляцію. Велику кількість розлитих радіоактивних рідин засипають стружкою. Після того, як основна їх кількість буде видалена, залишки забруднення знищують обробкою спеціальними миючими засобами.
 8. Дезактивацію забруднених поверхонь проводять за допомогою м'яких щіток, тампонів, змочених миючими засобами, або способом змиву.
 9. Після дезактивації спеціальними миючими засобами поверхню рясно промивають водою і протирають сухою чистою ганчіркою. Потім проводять контроль чистоти поверхні відповідним радіометричним приладом.
 10. Використані щітки, тампони збирають у пластикові мішки або в інші ємкості та видаляють як радіоактивні відходи.
 11. Як миючі засоби можуть використовуватись такі розчини:
 - 1) пральний порошок - 10 мл , луг - 10 мл, вода - до 1 л.
 - 2) щавлева кислота - 5 г, кухонна сіль - 50 г, миючий засіб ДС-РАС – 10 мл, вода - до 1 л.

12 Якщо не вдалося ефективно провести дезактивацію вказаними засобами, то для додаткової обробки поверхонь використовують розчин перманганат калію - 40 г, кислоти сірчаної (питома маса - 1,84) - 5 мл, води - до 1 л. Перманганат калію розчиняють в 1 л води підігрітої до 60⁰С, потім охолоджують до кімнатної температури. У розчин доливають сірчану кислоту і перемішують.

13. Якщо оброблюваний матеріал нестійкий до розчинів, що містять кислоти, для дезактивації використовують лужний розчин їдкою натру -10 г, трилону Б - 10 г, води - до 1 л. Їдкий натр розчиняють у воді, додають трилон Б, перемішують до повного розчинення.

14. Для дезактивації цінного обладнання, приладів готують наступні розчини:

- лимонна кислота - 10 г, вода - до 1 л;
- щавлева кислота - 20 г, вода - до 1 л;
- натрію гексаметафосфат - 10-20 г, вода - до 1 л;
- миючий засіб ОП-7 - 4 г, соляна кислота - 20 мл, гексаметафосфат натрію - 4 г, вода - до 1 л.

Кислоту або гексаметафосфат натрію розчиняють, перемішуючи, в 1 л води при кімнатній температурі.

15. При необхідності дезактивації поверхонь з лаково-фарбовим покриттям верхній шар знімають механічним (зчісування) або хімічним (за допомогою спеціальних розчинників) способами.

16. Одяг (фартухи, нарукавники та ін.) з поліхлорвінілу та поліетилену можна дезактивувати в розчині натрію гексаметафосфату – 10-20 г, води - до 1 л.

17. Після дезактивації підлогу і обладнання ретельно промивають водою і протирають насухо ганчіркою.

18. У таких приміщеннях ставляться особливі вимоги до їх вентиляції, здійснюють постійний дозиметричний контроль за рівнем радіаційного забруднення в повітрі.

Питання для самоперевірки:

1. Вкажіть один із рецептів для дезактивації цінного обладнання?
2. Як часто проводять генеральне прибирання з дезактивацію стін, підлоги, дверей і зовнішніх поверхонь устаткування?
3. Як часто проводять індивідуальний контроль персоналу за дозами опромінення?
4. Назвіть місце для зберігання радіоактивних препаратів переважно γ , β – активних.

Тема 2. Форми радіації. Їх характеристика.
Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з
радіоактивними речовинами

Іонізуючі випромінювання усіх природних і штучних джерел діляться на два типи: електромагнітне та корпускулярне.

Електромагнітне іонізуюче випромінювання. Електромагнітне, або фотонне, іонізуюче випромінювання являє собою потік періодичних електричних та магнітних коливань, котрі відрізняються від радіохвиль, інфрачервоного, видимого та ультрафіолетового світла більш короткою довжиною хвилі і, відповідно, більш високою енергією, котрі знаходяться між собою у оберненій залежності. До них в першу чергу належать найбільш використовувані у радіобіологічних дослідженнях і практиці рентгенівське випромінювання, котре штучно одержують у спеціальних генераторах (рентгенівських апаратах), та γ -випромінювання природних і штучних радіоактивних ізотопів. Іноді як самостійний вид виділяють так зване гальмівне випромінювання, яке виникає при проходженні через речовину і гальмуванні (звідки і назва) прискорених заряджених частинок, продуктів поділу ядер урану і плутонію, а також при деяких інших ядерних реакціях. Класичним прикладом гальмівного випромінювання є рентгенівське випромінювання рентгенівської трубки, котре виникає при різкому гальмуванні потоку прискорених до енергій вище 15 кеВ електронів при їх зіткненні з ядрами атомів вольфраму, з котрого виготовляється анод.

Рентгенівське (X-) випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між γ - та ультрафіолетовим (УФ-)випромінюванням у діапазоні довжин хвиль від 10^{-11} до 10^{-7} м. Умовно рентгенівське випромінювання з довжинами хвиль більш 2 ангстрем (2×10^{-10} м) називають м'яким (енергії від декількох десятків до декількох сотень електрон-вольт), а з довжинами хвиль менш двох ангстрем – жорстким (енергії до сотень тисяч електрон-вольт). Іноді виділяють наджорстке рентгенівське випромінювання з іще більш короткою довжиною хвилі, енергія яких досягає 1 МеВ. Ці назви широко використовуються у прикладній радіобіології, в першу чергу у радіаційній медицині та медичній радіології.

Гамма-(γ -) випромінювання – один з типів іонізуючих випромінювань, що випускається ядрами атомів багатьох як природних (^{226}Ra), так і штучних (^{60}Co , ^{137}Cs) радіоактивних ізотопів. Воно являє собою електромагнітне випромінювання з надзвичайно малою довжиною хвилі – 10^{-11} – 10^{-12} м і навіть коротше – до 10^{-14} м. Відповідно, енергія γ -випромінювань вища за енергію рентгенівського випромінювання, досягаючи мільйонів електрон-вольт.

Корпускулярне іонізуюче випромінювання. Корпускулярне іонізуюче випромінювання являє собою потік частинок (корпускул), які характеризуються на відміну від електромагнітного випромінювання не тільки енергією, але ще масою та електричним зарядом, про які вже згадувалося на початку розділу. В залежності від останніх двох властивостей частинки діляться на легкі і важкі, заряджені (позитивно чи негативно) і нейтральні.

Альфа-частинки (α) відносяться до важких частинок, що складаються з двох протонів і двох нейтронів і мають два елементарних позитивних заряди. Фактично, це ядро атому гелію, яке має саме таку будову.

Бета-частинки (β , e^-) – це потік електронів – найлегших негативно заряджених частинок, що випускаються атомним ядром.

Позитрони (e^+) – це легкі елементарні частинки, що випускаються ядром, ідентичні за своїми властивостями електронам, але такі, що мають не негативний, а позитивний електричний заряд. На відміну від β -частинки, котру називають ще бета-мінус-частинка, позитрон іменують бета-плюс- частинка.

Протони (p) відносяться до важких позитивно заряджених елементарних частинок і являють собою ядра атомів водню, входячи до складу атомних ядер усіх хімічних елементів. Протон несе однаковий з електроном і позитроном електричний заряд, але має масу в 1836 разів більшу. При поглинанні ядром атому енергії ззовні і наступному розпаді протон всередині ядра може перетворитись у нейтрон. Цей процес супроводжується виникненням позитрону і нейтрино. Остання – це електрично-незаряджена елементарна частинка з масою спокою набагато меншою за електрон.

Нейтрони (n) – це також важкі, але такі, що не мають електричного заряду, тобто нейтральні, елементарні частинки з масою, близькою, практично рівною, масі протону. Нейтрони завдяки відсутності заряду значно у меншій мірі, ніж інші важкі заряджені

частинки (α -частинки, протони, дейтрони) підпадають дії електромагнітних сил навколишнього середовища і тому легко проникають всередину атомів речовини і, досягаючи атомних ядер, поглинаються ними або розсіюються на них. Саме тому при опроміненні речовини нейтронами високих енергій її атомні ядра стають нестійкими і, в наступному розпадаючись, можуть випускати γ -кванти, протони, β - та інші частинки, тобто стають радіоактивними. Це явище одержало назву наведеної радіоактивності і саме на цьому принципі засноване одержання штучних радіоактивних ізотопів.

Дейтрони (d) – важкі позитивно заряджені частинки. Це – найпростіша в природі ядерна система, яка складається усього з двох частинок – протону і нейтрону. Дейтрони – це ядра атомів ізотопу водню дейтерію, або важкого водню – ^2H . Важкі іони. Будь-який атом, позбавлений хоча б одного електрону, стає при прискоренні іонізуючою частинкою.

Радіація – фактор впливу на живі організми, який ніяк ними не розпізнає. Навіть у людей відсутні своєрідні рецептори, які б відчували присутність радіаційного фону. Фахівці ретельно вивчили вплив випромінювання на здоров'я і життя людини. Були створені і прилади, за допомогою яких можна фіксувати показники. Дози опромінення характеризують рівень радіації, під впливом якої людина перебувала протягом року.

У Всесвітній павутині можна знайти чимало літератури, присвяченої радіоактивного випромінювання. Практично в кожному джерелі зустрічаються числові показники норм опромінення і сліdstва їх перевищення. Розібратися в незрозумілих одиницях виміру вдається не відразу. Достаток інформації, що характеризує гранично допустимі дози опромінення населення, можуть легко заплутати і знаючу людину. Розглянемо поняття в мінімальному і більш зрозумілою обсязі.

У чому вимірюють радіаційне випромінювання? За одиницю впливу радіації на яку-небудь речовину беруть поглинену дозу – 1 грей (Гр), що дорівнює 1 Дж / кг.

При впливі випромінювання на живі організми говорять про еквівалентній дозі. Вона дорівнює поглиненої тканинами організму дозі в перерахунку на одиницю маси, помноженої на коефіцієнт пошкодження. Константа виділена для кожного органу своя. В результаті обчислень виходить число з новою одиницею вимірювання – зіверт (Зв).

На підставі вже отриманих даних про вплив прийнятого випромінювання на тканини певного органу визначається ефективна еквівалентна доза опромінення. Цей показник обчислюється за допомогою множення попереднього числа в зіверт на коефіцієнт, який враховує різну чутливість тканин до радіоактивного випромінювання. Його значення дозволяє оцінити з урахуванням біологічної реакції організму кількість поглиненої енергії.

Виділяють наступні категорії:

✓ **А** – персонал, який працює з джерелами іонізуючого випромінювання (рентгенологи, робітники атомних станцій, радіохімічних заводів тощо), загальна чисельність їх не повинна становити не більше 1% населення країни.

Серед категорії А виділяють дві групи:

I – робітники, які працюють в умовах, коли доза іонізуючого випромінювання перевищує 0,3 річної гранично допустимої дози (ГДД). Персонал знаходиться на індивідуальному дозиметричному контролі.

II – робітники, які працюють в умовах, коли доза іонізуючого випромінювання не перевищує 0,3 річної гранично допустимої дози (ГДД). Оцінка опромінення персоналу знаходиться в залежності від концентрації радіонуклідів у повітрі приміщення. Індивідуальний дозиметричний контроль не обов'язковий.

Гранично допустима доза (ГДД) для робітників категорії А – найвище значення індивідуальної еквівалентної дози за рік, при рівномірній дії якої при дослідженні протягом 50 років не виявляється зміна стану здоров'я людини (табл.1,2).

✓ **Б** – персонал, який не працює з джерелами іонізуючого випромінювання, але по умовам проживання можуть підлягати дії РР, загальна чисельність їх не повинна становити не більше 3% населення країни.

Границя дози (ГД) встановлюється для робітників категорії Б – найвище значення індивідуальної еквівалентної дози за рік, при рівномірній дії якої при дослідженні протягом 70 років не виявляється зміна стану здоров'я людини (табл.1,2).

В – залишкове населення країни. Контроль опромінення людей категорії В відноситься до компетенції Міністерства охорони здоров'я (МОЗ) України. У випадку радіаційної аварії Головним санітарно-епідеміологічним управлінням МОЗ встановлюються

тимчасові допустимі рівні опромінення і надходження радіонуклідів в організм людини.

Таблиця 1

Граничні дози зовнішнього і внутрішнього опромінення

Назва дози	Категорія робітників	Група критичних органів		
		I	II	III
		Границя дози (зіверт/годину, Зв/год)		
ГДД – гранично допустима доза	А	50	150	300
ГД– гранична доза	Б	5	15	30

Таблиця 2

Граничні дози зовнішнього і внутрішнього опромінення

Назва дози	Категорія робітників	Група критичних органів		
		I	II	III
		Границя дози (бер/год)		
ГДД – гранично допустима доза	А	5	15	30
ГД– гранична доза	Б	0,5	1,5	3

Оцінка допустимих дій зовнішнього і внутрішнього опромінення на організм людини проводиться по рівню опромінення всього тіла чи по стану *критичного органу*.

В зв'язку з зменшенням радіочутливості встановлено три групи критичних органів:

I група – все тіло, гонади, червоний кістковий мозок;

II група – м'язи, щитовидна залоза, легені, печінка, селезінка, шлунково-кишечний тракт, кристалики очей та інші, які не входять до I, III груп;

III – кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, фаланги пальців, стопи.

Вперше межі опромінення з'явилися в 1928 році. Величина річного поглинання радіаційного фону становила 600 мілізіверт (мЗв). Встановлено вона була для медичних працівників – рентгенологів. З вивченням впливу іонізованого випромінювання на тривалість і якість життя ПДР посилювалися. Уже в 1956 році планка знизилася до 50 мілізіверт, а в 1996-му Міжнародна комісія із захисту від радіації зменшила її до 20 мЗв. Варто зауважити, що при встановленні ПДР в розрахунок не беруть природне поглинання іонізованої енергії.

Якщо уникнути зустрічі з радіоактивними елементами і їх випромінюванням ще хоч якось можна, то від природного фону нікуди не сховатися. Природне опромінення в кожному з регіонів має індивідуальні показники. Воно було завжди і з роками нікуди не пропадає, а лише накопичується.

Рівень природної радіації залежить від декількох факторів:

- показника висоти над рівнем моря (чим нижче, тим менше фон, і навпаки);
- структури ґрунту, води, гірських порід;
- штучних причин (виробництво, АЕС).

Людина отримує радіацію через продукти харчування, випромінювання ґрунтів, сонця, при медичному обстеженні. Додатковими джерелами опромінення стають виробничі підприємства, атомні станції, випробувальні полігони і пускові аеродроми.

Фахівці вважають найбільш прийнятним опромінення, яке не перевищує 0,2 мкЗв за одну годину. А верхня межа норми радіації визначається в 0,5 мкЗв на годину. Після деякого часу безперервного впливу іонізованих речовин допустимі дози опромінення для людини збільшуються до 10 мкЗв / год.

Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами

Весь персонал, який працює чи відвідує місця роботи з відкритими джерелами радіації, повинен бути забезпечений засобами індивідуального захисту в залежності від виду і класу робіт. Оскільки робота з радіоактивними речовинами, джерелами іонізуючого випромінювання та перебування там, де з ними працюють є потенційно небезпечними. Виділяють три класи робіт – I, II та III-й.

При роботах I-го класу персонал забезпечується комбінезонами, шапочки, спецбілизною, панчохами, легким взуттям (гумові чоботи або бахілами), рукавицями, паперовими рушниками і носовиками разового користування, а також засобами захисту органів дихання (респіратори, протигаз).

При роботах II-го, III-го класу персонал забезпечується халатами, шапочками, рукавицями, легким взуттям, а при необхідності засобами захисту органів дихання.

У приміщеннях для роботи з відкритими радіоактивними джерелами забороняється: перебування співробітників без необхідних засобів індивідуального захисту; зберігання харчових продуктів, тютюнових виробів, косметики; роботу з піпеткою без груші.

Усі роботи з радіоактивними речовинами виконують у кюветі, накритій шаром фільтрувального паперу, котрий після роботи складають у пластикові мішки для збору радіоактивних відходів.

Після закінчення роботи кожний співробітник зобов'язаний прибрати своє робоче місце, дезактивувати посуд, інструменти та інше обладнання до гранично допустимих рівнів, контролюючи їх чистоту радіометричними приладами.

При виході із приміщення, де проводиться робота з радіоактивними речовинами, необхідно зняти спецодяг, рукавиці та інші засоби індивідуального захисту, ретельно вимити руки та перевірити їх чистоту на радіометричному приладі.

При негайній обробці шкіри, незалежно від ступеня її забруднення і дезактивуєчої речовини, видаляється до 90...98 % нефіксованих радіонуклідів, які на ній знаходяться. При незначному забрудненні (перевищення допустимих рівнів не більше, ніж у 2,5 рази) радіоактивні речовини добре видаляються під час миття теплою проточною водою з 72 %-м господарським милом за допомогою волосяної щітки. Щіткою користуються без натиску, щоб не викликати пошкодження шкіри і проникнення радіоактивних речовин всередину організму. Вода має бути проточною з температурою не вище 35°C, оскільки використання гарячої води погіршує результати очистки.

У разі, коли відбулася фіксація радіоактивних речовин у результаті їх реакції з білками шкіри, звичайна обробка за допомогою води і мила не ефективна. Для видалення остаточної активності використовують миючі засоби залежно від хімічних властивостей

радіоактивних речовин: адсорбенти (каолінова паста, порошки та ін.), комплексоутворювачі (трилон Б, тринатрієва сіль, лимонна кислота, унітіол, оксатіол, розчин соди та ін.), слабкі розчини кислот (частіше соляна і лимонна). Ці засоби руйнують зв'язки ізотопу з білками шкіри, сорбують радіоактивні речовини і легко змиваються зі шкіри.

Для дезактивації шкіряних покривів можна використовувати препарати (табл. 3).

Таблиця 3

Рецепти миючих засобів, що використовуються для дезактивації шкіри

№ розчину	Склад	Маса, г	№ розчину	Склад	Маса, Г
1	Каолінова паста: каолін (порошок) мильна стружка сода Вода гаряча	64 15 3 18	5	Калію перманганат Вода	40 1000
2	Миючий засіб Полікомплексон Вода	50 10 950	6	Лимонна кислота Вода	3 1000
3	Миючий засіб Тринатрієва сіль Антибактеріальний препарат Вода	4 30 1 1000	7	Натрію бікарбонат Вода	20 1000
4	Трилон Б Бісульфат натрію Крохмаль Карбонат натрію Вода	5 5 5 35 1000	8	Соляна кислота Вода	20 1000

При дезактивації необхідно враховувати хімічні закономірності, наприклад, забруднення радіоактивним фосфором не треба змивати милом, оскільки при цьому утворюються нерозчинні фосфати. У цьому разі краще користуватись синтетичними миючими засобами (2 %-м розчином соди).

Радіоактивний йод легко видаляється при обробці водою з милом і наступним використанням окислювачів (перманганат калію) та обробкою розчином сульфату. Використання води і мила ефективно при забрудненні ^{42}K і ^{24}Na . В інших випадках краще користуватись комплексоутворюючими засобами: трилон Б (при забрудненні ^{90}Sr та

^{59}Fe); унітіол та оксатіол (при забрудненні ^{198}Au і ^{203}Hg); каолінове мило (при забрудненні ^{226}Ra).

При невеликих забрудненнях шкіряних покривів тулуба необхідно ретельно вимитись під душем з господарським 72%-м милом. При необхідності більш ретельної дезактивації протягом 2 хвилин проводять обробку розчином № 3 (табл.1).

Сильно забруднені ділянки шкіри спочатку обробляють міцним розчином калію перманганату і 5%-м розчином сірчаноокислого натрію. Потім ретельно миються під душем. Для обтирання оброблених поверхонь шкіри зручно користуватися одноразовими серветками або ватно-марлевими тампонами, котрі потім видаляють як тверді радіоактивні відходи.

Якщо радіоактивне забруднення супроводжувалось невеликим пошкодженням шкіри, то рану необхідно декілька разів промити теплою проточною водою, а потім штучно викликати кровотечу під струменем води.

Шкіру обличчя дезактивують водою з милом, волосся – водою з шампунем, до якого додають 3 %-й розчин лимонної кислоти. Очі промивають під струменем теплої води з широко розкритими повіками. Для запобігання забрудненню слізних каналів струмись води направляють від внутрішнього кута ока до зовнішнього. У разі попадання радіоактивних речовин до рота необхідно декілька разів прополоскати його теплою водою, а зуби і ясна вичистити зубною щіткою з пастою, після чого прополоскати 3%-м розчином лимонної кислоти.

Якщо одноразова обробка частин тіла не дала необхідної чистоти, дезактивацію повторюють. Неефективні повторні обробки вказують на фіксацію ізотопу шкірою. Це є сигналом для взяття таких осіб під медичний нагляд.

Радіаційний контроль виконують співробітники, які пройшли спеціальну підготовку, або представники служби радіаційної безпеки.

Індивідуальний контроль за дозами опромінення персоналу проводять один раз на місяць; контроль за рівнем забруднення робочих поверхонь, обладнання, спецодягу працюючих і їх шкіряного покриву – кожний раз після роботи з радіоактивними речовинами; рівень забруднення суміжних приміщень контролюється один раз на квартал, контроль за вмістом радіоактивних речовин у повітрі робочих приміщень – не рідше двох разів на місяць, а в стічних водах – 1 раз на квартал. Дані всіх видів радіаційного контролю

реєструються в журналі.

Персонал, який проводить прибирання приміщень та працює з радіоактивними розчинами і порошками повинен бути забезпечений (окрім відміченого) пластиковими фартухами і нарукавниками або пластиковими напівхалатами, гумовим взуттям.

При переході з приміщень для роботи більш високого класу до приміщень більш низького класу необхідно контролювати рівні радіоактивного забруднення засобів індивідуального захисту, особливо спецвзуття і рук.

Захист від радіаційного опромінення включає:

1. Герметизація джерел радіаційного випромінювання;
2. Таке планування розміщення робочих міст, щоб знизити всяку можливість радіаційного опромінення персоналу;
3. Раціональне застосування санітарно-технічних приладів, обладнання, засобів і заходів;
4. Використання спеціальних захисних матеріалів;
5. Використання засобів індивідуального захисту;
6. Дотримання правил особистої гігієни.

Індивідуальний захист від радіаційного опромінення передбачає наступне:

- Скорочення тривалості робочого часу в умовах опромінення;
- Збільшення відстані від джерела радіації;
- Забезпечення працівників спеціальними халатами, шапочками, рукавицями (для захисту рук), нарукавниками, окулярами (для захисту роговиці ока) тощо.
- Забезпечення працівників гумовим взуттям, бахилами, фартухами з просвинцьованої гуми.
- При роботі з радіоактивними аерозолями, пилом працівників необхідно забезпечити респіраторами, протигазами.
- Після виконання робіт необхідно приймати душ з використанням мила господарського, шампуні.
- Приймати їжу і палити в місцях опромінення забороняється;
- Всі працівники, за умови роботи з джерелами радіаційного випромінювання, повинні бути забезпечені повноцінним добрим харчуванням.

У приміщеннях для проведення робіт I-го класу повинен бути санпропускник до приміщення II-го класу. У приміщеннях, де проводяться роботи II-го класу повинен бути обладнаний санпропускник до приміщення III-го класу або духова з окремими

шафами для кожного працівника. Для робіт III-го класу передбачається душ звичайного типу.

Між робочими зонами облаштовуються санітарні шлюзи, де передбачається мати наступне:

- місце для зміни одягу і попередньої дезактивації;
- пристрій для очистки і дезактивації взуття;
- пункти очистки спецодягу безпосередньо на людині;
- пункти радіаційного контролю;
- умивальник;
- роздягальня для зняття забрудненого спецодягу.

Для зменшення надходження радіонуклідів з продуктами харчування необхідно систематично вживати радіопротектори – речовини, що зв'язують радіонукліди і підвищують стійкість організму до радіації. Ці речовини містяться в деяких харчових продуктах (яблучне повидло, неосвітлений яблучний сік, чорноплідна горобина, ожина, морква, обліпіха, тисячolistник тощо), а також у продуктах бджільництва (мед, прополіс, маточне молоко). Рекомендується також вживати цибулю і часник. Всі ці продукти ефективно діють тільки при систематичному вживанні.

Питання для самоперевірки:

1. Дайте характеристику електромагнітному випромінюванню.
2. Дайте характеристику корпускулярному випромінюванню.
3. Назвіть категорії людей, що підлягають опроміненню?

Модуль 2. Радіометрія і радіаційна безпека

Тема 3. Рівні радіаційного забруднення та форми моніторингу. Правила відбору проб для визначення радіаційного забруднення.

Радіоекологічний моніторинг є складовою загального екологічного моніторингу.

Радіоекологічний моніторинг – комплексна інформаційно-технічна система спостережень, досліджень, оцінювання й прогнозування радіаційного стану біосфери, територій поблизу АЕС і потерпілих від радіаційних аварій.

Головними завданнями радіоекологічного моніторингу є:

- спостереження та контроль за станом забрудненої радіонуклідами зони, її окремих особливо шкідливих ділянок та пропонування заходів щодо зниження шкідливості;

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

- виявлення тенденцій до змін природного середовища, спричинених функціонуванням екологічно небезпечних об'єктів, а також при реалізації заходів, що проводяться на забруднених територіях;

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

- інформаційне забезпечення прогнозу радіоекологічної ситуації в забрудненій зоні та країні загалом.

Радіологічний моніторинг реалізують у трьох напрямках: базовий (стандартний), кризовий (оперативний), науковий (фоновий).

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

Система кризового радіологічного моніторингу формується на основі діяльності територіальних служб спостереження і контролю радіоекологічних параметрів навколишнього середовища на територіях, де виникли несприятливі радіологічні ситуації.

Науковий радіоекологічний моніторинг реалізують координуючі структури на базі науково-дослідних закладів (підрозділів АН України), які розробляють методи та програми радіологічних досліджень.

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

В Україні після катастрофи на ЧАЕС здійснюють радіоекологічний моніторинг основних складових довілля на різних територіальних рівнях за характерними лише для нашої держави показниками. Так, в зоні забруднення (крім об'єкта "Укриття" та 30-кілометрової зони відчуження) здійснюється радіоекологічний моніторинг:

- ландшафтно-геологічного середовища з метою отримання базової інформації для оцінювання та прогнозування загальної радіоекологічної ситуації на забруднених радіонуклідами територіях і її впливу на екологічну ситуацію в Україні;
- поверхневих і підземних водних систем;
- природоохоронних заходів та споруд;
- локальних довгочасних джерел реального і потенційного забруднення (об'єкт “Укриття”, ставок-охолоджувач, пункти захоронення радіоактивних відходів, пункти тимчасової локалізації радіоактивних відходів);
- біоценозів;
- медичний і санітарно-гігієнічний.

Визначення радіаційного забруднення здійснюється за наступною послідовністю:

- відбір та підготовка проб для дослідження;
- підготовка приладу до роботи;
- вимірювання фону;
- вимірювання радіоактивного випромінювання від проби;
- розрахунок рівня забрудненості проби та зрівняння його з нормою.

У реєстраційному журналі записують час, місце відбору проби, найменування проби, результати вимірювання.

Відбір проб рослин проводиться на тих самих ділянках, що і проб ґрунту. Проби поміщають у поліетиленові мішечки. У ці ж мішечки поміщають етикетку, на якій вказують назву рослин, фазу вегетації, місце відбору, дату взяття проби. Проби сільськогосподарських культур на полі краще відбирати по діагоналі.

Відбір проб для радіометричних досліджень починається з оформлення акту, де вказується ким (установа, посада, прізвище), коли (дата), в якій місцевості, з якою метою здійснено відбір проби, здійснюється опис проби (що це і в якій кількості взято). Акт обов'язково підписують ті, хто бере пробу і представники господарства, підприємства, установи, де береться проба.

Результати радіаційного моніторингу заносяться у відповідні журнали спостережень, а також наносяться на спеціальні карти-схем.

Правила відбору проб води та інших рідин. Проби води з річок відбирають з декількох точок, обов'язково біля правого, лівого берегів та посередині на глибині 0,5 м. Питну воду відбирають з усіх джерел. Об'єм проби не повинен бути меншим 1 л. Перед заповненням посуду, необхідно її сполоснути водою, що відбирається для аналізу.

Таких же правил дотримуються при відборі проб інших рідин.

Відбір проб ґрунту. Проби ґрунту відбирають методом "конверту", тобто в п'яти точках квадрату з сторонами по 100 метрів. Проби відбирають по кутах квадрату і в центрі. Проби ґрунту беруть на глибині 5 см. Контрольні точки відбору ґрунту повинні бути на відстані не менше 200 м від автодоріг. Всі проби перемішують. Загальна маса цієї середньої проби повинна бути не менше 1 кг.

Відбір проб рослин. Проби рослин бажано відбирати на тих же ділянках, що і ґрунт. Відпирають методом обережного зрізання надземної частини рослин не менше 8...10 проб. Потім готують середню пробу масою до 2 кг. Рослини зрізують на висоті не менше, ніж 3-5 см від поверхні ґрунту, щоб уникнути забруднення проби.

З посівів сільськогосподарських культур проби відбирають по діагоналі поля, або по ламаній лінії.

Зі скирт і стогів проби відбирають на висоті 1..1,5 м від землі і на глибині не менше 0,5 м.

Відбір проб зерна. Проби зерна відбирають з врахуванням того, де це здійснюється. Наприклад, якщо проба зерна відбирається з автомобіля, вагона, то проби беруть біля бортів, спереду, ззаду не менше ніж в шести – восьми точках на глибині до 0,5 м з використанням спеціального щупу. Середня проба повинна мати масу не менше 2 кг.

Якщо пробу зерна беруть при вивантаженні, то їх беруть з різних точок потоку зерна через рівні проміжки часу. Маса однієї точкової проби не повинна бути меншою 100 г.

Проби з мішків беруть щупом з 5% мішків від їх загальної кількості. Загальна маса середньої проби не повинна бути меншою 2 кг.

Відбір проб коренебульбоплодів. Проби коренебульбоплодів відбирають з однорідної партії, з одного поля, одного сортотипу, що зберігаються в одному сховищі в однакових умовах. Проби відбирають по діагоналі бокової поверхні бурта, куч тощо через 20...30 см. Точкові проби повинні бути масою до 1...1,5 кг. Потім формують об'єднану середню пробу, відбираючи приблизно по 20% маси точкової проби.

Відбір проб трави і зеленої маси сільськогосподарських культур. Траву з лугів, сінокосів і зелену масу сільськогосподарських культур відбирають з 8...10 ділянок площею 1...2 м, що знаходяться приблизно по діагоналі поля. Траву зрізають

на висоті 3...5 см від землі порціями по 400...500 г. Потім готують об'єднану середню пробу масою 1,5...2,0 кг.

Відбір проб сіна і соломи. Проби сіна і соломи відбирають зі скирт, стогів по периметру на висоті 1,0...1,5 м від землі в 10 точках на рівній відстані, на глибині не менше 0,5 м. Відбирають пучки сіна, соломи по 60...120 г. Потім готують середню пробу масою не менше 1 кг.

Відбір проб молока і молочних продуктів. Відбір проб здійснюють на фермах, молочних пунктах, молокозаводах, холодокомбінатах і ринках. Пробу з рідких продуктів (молоко, вершки, сметана, ряжанка, кефір) з невеликих ємкостей відбирають після ретельного перемішування, з великих ємкостей - з різної глибини ємкості чашки з довгою ручкою або спеціальним пробовідбірником. Величина середньої проби повинна становити 0,2... 1,0 л і залежить від маси всієї партії продукції.

Масло, сир відбирають на молочних заводах і холодокомбінатах. Проби масла відбирають по 0,3 кг, сиру по - 0,5 кг.

Відбір проб м'яса і субпродуктів. Проби м'ясної продукції відбирають на забійних пунктах, м'ясокомбінатах, ринках. Проби м'яса (без жиру) від туш чи півтуш відбирають кусками по 30...50 г в області 4-5-го шийного хребців, лопатки, стегна і товстих частин м'язів спини. Загальна маса проби повинна становити 0,2... 0,3 кг.

Для спеціальних лабораторних досліджень відбирають також кістки у кількості 0,3... 0,5 кг (хребет, і 2-3-е ребро).

Проби внутрішніх органів тварин – печінку, нирки, селезінку, легені відбирають масою 0,1-0,2 кг; щитовидна залоза відбирається цілою.

Проби м'яса птахів відбирають % тушки (кури, індики, гуси, качки), а якщо циплята - то цілими тушками.

Кількість відібраних зразків-проб залежить від розмірів партії продукції і становить:

- при масі продукції до 500 кг - одна проба;
- при масі продукції 0,5... 3,0 тонни - дві проби;
- при масі продукції 3... 5 т - три проби;
- при масі продукції 5... 10 т - п'ять проб;
- при масі продукції 10... 20 т - шість проб;
- при масі продукції від 20 і більше тонн - десять проб.

Відбір проб риби. Відбір проб риби проводять на рибо-, холодокомбінатах, рибгосподарствах і ринках. Дрібну рибу

відбирають цілою, з крупної риби відбирають тільки середню частину. Маса середньої проби повинна становити 0,3... 0,5 кг. Кількість проб визначається розмірами партії.

Відбір проб яєць. Відбір проб яєць проводять на фермах, птахофабриках, на ринках. Величина проби становить 5... 10 яєць з кожної ферми, 3 яйця з кожної тисячі, 2 яйця від партії продажу на ринку.

Відбір проб натурального меду. Відбір проб меду проводять на пасиках, складах і ринках. Забір проби

здійснюється трубчастим алюмінієвим пробовідбірником якщо мед рідкий, або щупом для масла якщо мед густий. Проба відбирається з різних шарів меду. Маса проби повинна становити 150... 300 г.

Для дослідження сотового меду з соторамки вирізають ділянку площею не менше 25 см .

Всі прилади радіаційного контролю використовують строго за інструкцією.

Радіометричний контроль за речами широкого побуту. Речі широкого побуту, наприклад, гроші теж потребують радіометричного моніторингу. Постійно цю роботу мають здійснювати банки, розрахунково-касові центри. Результати радіомоніторингу грошей мають реєструватись у спеціальному журналі. У разі виявлення радіаційного забруднення грошей складається акт, де зазначається кількість, номінали купюр, їх сума і потужність випромінювання. Контроль проводять в приміщеннях, куди надходять гроші.

Вимірювання радіації проводять на відстані 1-4 см від грошей. Якщо гроші в мішках, то вимірювання здійснюють на відстані 10 см від них.

У разі виявлення забруднених грошей, їх згортають у спеціальний щільний матеріал і закривають у металевий сейф, а у сейфі їх обкладають свинцевими пластинами.

Про факт виявлення забруднених грошей банк зобов'язаний повідомити місцевий штаб цивільної оборони і обласне управління національної безпеки України. Забруднені гроші ліквідуються у прийнятому порядку, з відповідним записом у спеціальному журналі радіаційного контролю.

Питання для самоперевірки:

1. Поясніть поняття радіаційного моніторингу?
2. Характеристика методів взяття проб?
3. Радіометричний контроль продуктів харчування?

Тема 4. Основні принципи захисту при роботі з закритими та відкритими джерелами опромінення

Закриті джерела опромінення – будь-які джерела опромінення при яких відсутнє надходження РР в навколишнє середовище. До них відносимо джерела виготовлення дисків, сталевих ампул, рентгенівських апаратів тощо.

Відкриті джерела опромінення – будь-які джерела опромінення при яких відбувається надходження РР в навколишнє середовище. До них відносимо ізотопи, які використовуються у вигляді газів, аерозолів, порошків тощо.

Радіонукліди, які є потенціальними джерелами внутрішнього опромінення, мають чотири групи радіотоксичності.

- Група А – радіонукліди особливо високої радіотоксичності, допустима активність яких на робочій зоні складає 0,1 мкКі (кюрі). До цієї групи відносять 39 ізотопи, а саме: свинець (Pb), полоній (Po), плутоній (Pu), америцій (Am) та інші.
- Група Б – радіонукліди високої радіотоксичності, допустима активність яких на робочій зоні складає 1 мкКі (кюрі). До цієї групи відносять 23 ізотопи, а саме: стронцій (Sr), йод (I), рутеній (Ru), торій (Th) та інші;
- Група В – радіонукліди середньої радіотоксичності, допустима активність яких на робочій зоні складає 10 мкКі (кюрі). До цієї групи відносять 162 ізотопи, а саме: натрій (Na), фосфор (P), калій (K), барій (Ba) та інші.
- Група Г – радіонукліди малої радіотоксичності, допустима активність яких на робочій зоні складає 100 мкКі (кюрі). До цієї групи відносять 45 ізотопи, а саме: платина (Pt), мідь (Cu), водень (H), вуглець (C) та інші.

Робота з відкритими джерелами опромінення проводиться в лабораторіях, до яких поставлені певні санітарно-гігієнічні вимоги.

Основні принципи запобігання зовнішнього опромінення РР залежить від:

- часу (зменшення часу роботи з джерелом РР);
- кількістю (зменшення потужності джерела або кількість активності РР на робочому місці);
- екранами (екранізація джерел РР матеріалами, які мають властивість поглинати ступінь опромінення);
- відстань (збільшення відстані від джерела РР).

В комплекті захисних заходів враховується і тип випромінювання РР (α , β , γ -кванти). Захист для людей від зовнішнього опромінення α -частотками не потрібний, так як рух їх в повітрі складає від 2,4-11,0 см. Спецодяг повністю захищає від РР.

β - часточки при зовнішньому опроміненні діють на шкіряний покрив, роговицю очей, а в великих дозах визивають сухість, опіки шкіри, катаракта.

У випадках особливо сильних напрямів β -часточок потрібно застосовувати додаткові екрани для захисту робітників, а саме: фартухи, рукавиці з резини, бокси, шторки.

Перераховані засоби захисту можливо застосовувати окремо або разом, але так щоб при зовнішнє фотонне випромінювання при опроміненні людей категорії А не перевищувала 0,017 рентгена (Р) за добу чи 0,1 Р в тиждень.

Захист від зовнішнього опромінення γ -квантів досягається швидкою маніпуляцією з препаратом, зменшенням робочого дня і тижня.

Приклад: препарат кобальт (Со) створює потужність дози 1,5 Р/год на відстані 50 см від джерела. Визначити безпечний час роботи з ним для людей категорії А.

Рішення: зовнішнє фотонне випромінювання опроміненні людей категорії А – 0,017 рентгена (Р), а це – 6 годин роботи на добу, визначаємо безпечний час в секундах (t): $t = 3600 \times 0,017 / 1,5 = 40,8$ с

Найбільш ефективним захистом від γ -опромінення можливо досягнути при використанні захисних екранів із матеріалів з великою атомною масою (свинець, чавун та інші). За конструкцією всі захисні екрани поділяють на стаціонарні (стіни, ніші) і переносні (переносні екрани, шторки, контейнери, захисні фартухи).

Основні принципи запобігання внутрішнього опромінення РР базується на:

- застосування принципів захисту при роботі з закритими джерелами опромінення;
- герметизація виробничого обладнання для уникнення забрудненості приміщень для лабораторій і навколишнього середовища;
- правильне рішення при розміщенні приміщення для лабораторії в будівлі;
- використання спеціальних захисних матеріалів при застосуванні технічного обладнання;
- застосування засобів індивідуального захисту;
- виконання правил особистої гігієни;
- дезактивація приміщення, апаратури і засобів індивідуального захисту.

Дезактивація – видалення радіоактивних речовин з окремих територій місцевості, споруд, засобів транспорту, одягу, продовольства, води, тіла тварин і людини та інших предметів, будь-якої поверхні.

Дезактивація – це один із видів знезараження, що включає два способи: механічний (змітання щітками, витрушування одягу, здування, змивання водою тощо); фізико-хімічний (передбачає застосування розчинів спеціальних препаратів і поверхнево активних речовин).

Питання для самоперевірки:

1. Розкрити основні принципи запобігання внутрішнього опромінення РР?
2. Перерахуйте радіонукліди особливо високої радіотоксичності?
3. До якої групи відносять 162 ізотопи, а саме: натрій (Na), фосфор (P), калій (K), барій (Ba) та інші?
4. Яка допустима активність в робочій зоні радіонуклідів середньої радіотоксичності групи В?
5. Перерахуйте засоби захисту для людей від зовнішнього опромінення β – часточок?

Тема 5. Радіометрія, дозиметрія іонізуючих випромінювань

Радіометрія – розділ прикладної ядерної фізики, радіоекології та радіобіології, що розробляє теорію і практику вимірювання радіації.

Існують:

- прилади для визначення радіаційного забруднення води, ґрунту, рослинних і харчових продуктів методом "прямого" вимірювання. Здійснюється визначення радіаційного забруднення безпосередньо на певній місцевості;
- прилади для визначення радіаційного забруднення засобів транспорту, одягу;
- прилади для проведення спеціальних досліджень у біології, медицині;
- прилади для проведення аналізу радіоактивного складу проб спектрометричними методами (оптичних спектрів).

Прилади поділять на:

- стаціонарні (лабораторні);
- переносні;
- універсальні, які призначені для реєстрації одного виду радіації за типом детекторів (виявлювачі);
- сцинтиляційні (принцип роботи оснований на збудженні зарядженими частинками);
- газорозрядні.

Основні методи виявлення і вимірювання радіації є наступні:

- фотографічний
- хімічний;
- сцинтиляційний;
- люмінесцентний;
- іонізаційний;
- коліметричний.

Фотографічний метод базується на впливі іонізуючих випромінювань на світлочутливий шар фотоплівки, щільність потемніння якої пропорційна дозі опромінення.

Хімічний метод ґрунтується на здатності іонізуючих випромінювань спричиняти хімічні зміни деяких речовин, що супроводжуються появою нового забарвлення розчину цих речовин.

Сцинтиляційний метод використовує явище світіння деяких речовин під впливом іонізуючого випромінювання. Кількість спалахів пропорційна інтенсивності випромінювання.

Іонізаційний метод використовує явище іонізації атомів речовин під впливом іонізуючого випромінювання, внаслідок чого електрично нейтральні речовини розпадаються і утворюють іони. Цей метод найчастіше використовують у дозиметричних приладах. Основними елементами цих приладів є приймальний пристрій, підсилювач іонізуючого струму, вимірювальний прилад, перетворювач струму, джерело живлення. Цей метод базується на використанні властивості радіації іонізувати середовище, в якому вона розповсюджується (тобто розщеплювати нейтральні молекули або атомні пари на позитивні та негативні іони). Якщо газів у замкненому об'ємі (іонізаційна камера) надати електричний струм, іони, що утворюються при опроміненні набудуть упорядкованого руху: позитивно заряджені до анода, а негативно – до катода. У результаті між електродами (анодом і катодом) виникає так званий іонізаційний струм, величина якого прямо пропорційна потужності дози іонізуючого випромінювання.

Колометричний метод базується на вимірюванні тепла, що виділяється в речовині при поглинанні опромінення.

Прилади дозиметричного контролю іонізуючих випромінювань призначені для вимірювання потужності іонізуючого випромінювання (рівня радіації) і ступеня радіоактивного забруднення різних предметів.

У залежності від завдання прилади радіаційного і хімічного контролю поділяють на такі:

- визначення потужності доз гама-випромінювання здійснюється дозиметрами типу ДРГ-01Г або ДП-5Б (ДП-5В);

- вимірювачі потужності дози, з допомогою яких вимірюються рівні радіації (ДП-36, ВДП-21С, ВДП-21Б);

- вимірювачі потужності дози мікродіапазонні, комбіновані прилади (ДП-5 А, Б, В; ВДП-12);

- вимірювачі поглинання дози (ІД-1, ІД-11) – це прилади індивідуального дозиметричного контролю, за допомогою яких виявляють яку дозу одержала людина чи тварина (персонально) за відповідний період;

- дозиметри для певного одного виду випромінювання (ДК-02, ДКП-50, ДП-22В, ДП-24);

- газосигналізатори автоматичні, за допомогою яких проводять автоматичний контроль навколишнього середовища з метою

виявлення отруйних парів, радіаційних речовин, аерозолів (ГСА-12, АСП, ГСП-11, ГС-СОМ);

- декадно-розрахунковий пристрій, призначений для вимірювання кількості електричних імпульсів при виявленні ступеня зараженості радіаційними ізотопами води, продуктів харчування, повітря, проб ґрунту тощо (ДП-100, ДП-100 АДМ).

Всі ці прилади повинні проходити перевірку в спеціальних контрольних державних лабораторіях чи установах.

Визначення дози γ -випромінювання за допомогою кишенькового дозиметра ДК-0,2 (рис. 1).

Використовують для експозиційної дози (характеризує іонізуючу спроможність фотонного випромінювання в повітрі) рентгеновського випромінювання, а також γ -випромінювання з енергією 0,2...2,0 МеВ (мегаелектронвольт) в діапазоні 0,01...0,20 Р, якщо потужність експозиційної дози не перевищує 1,67 мР/с.

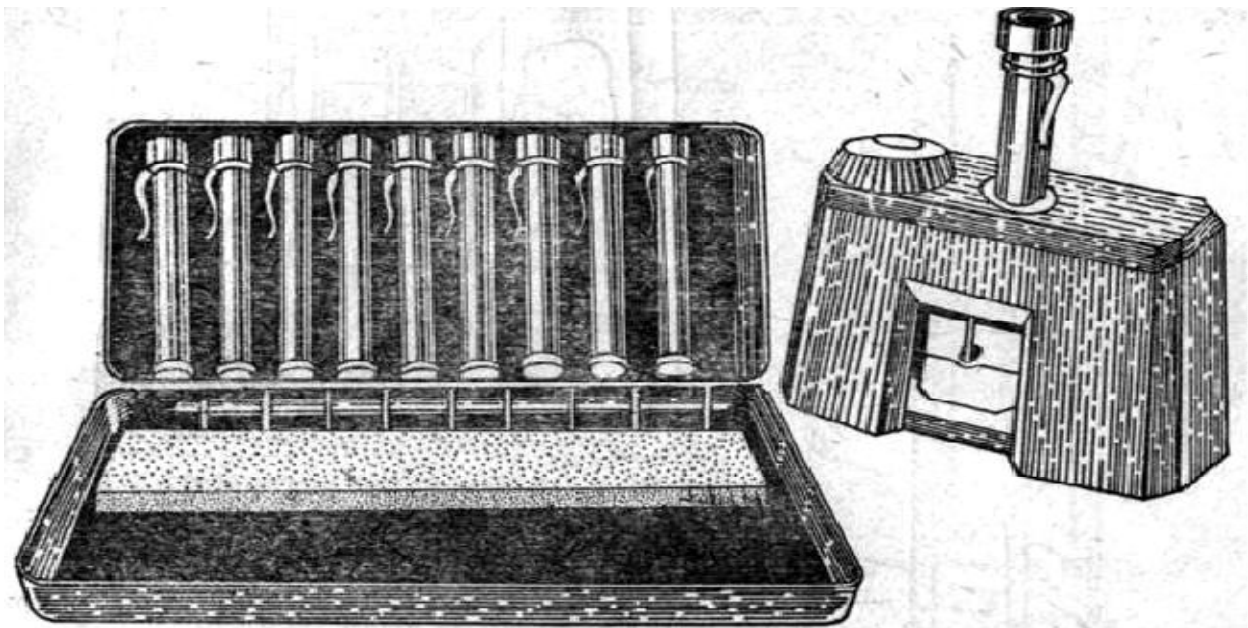


Рис. 1. Комплект дозиметра ДК-02 і зарядний пристрій

Комплект дозиметра ДК-0,2 має вимірювальну камера, зарядний пристрій (рис. 1). Вимірювальна камера має три частини:

- іонізаційну камеру
- електроскоп
- мікроскоп

Принцип роботи: конденсатор, який утворився внутрішніми стінами камери і центральним електродом, заряджається до певного потенціалу. При дії випромінювання повітря в робочому об'ємі іонізується, при цьому потенціал камери зменшується пропорційно дозі опромінення. Потенціал визначають в дозиметрі за допомогою мініатюрного електроскопа. Відхилення

рухомої системи електроскопа (платинова кварцова нитка діаметром 5 мкм) визначається рахунковим мікроскопом на шкалі (мР) (рис. 2, А).

Конструктивно дозиметр виготовлений у вигляді авторучки з тримачем для прикріплення до одягу. Циліндричний корпус з дюралюмінія. Об'єм камери – 1,8 м³. Зарядний пристрій має корпус, зарядне гніздо, потенціометр для установлення необхідної напруги (рис. 2, Б).

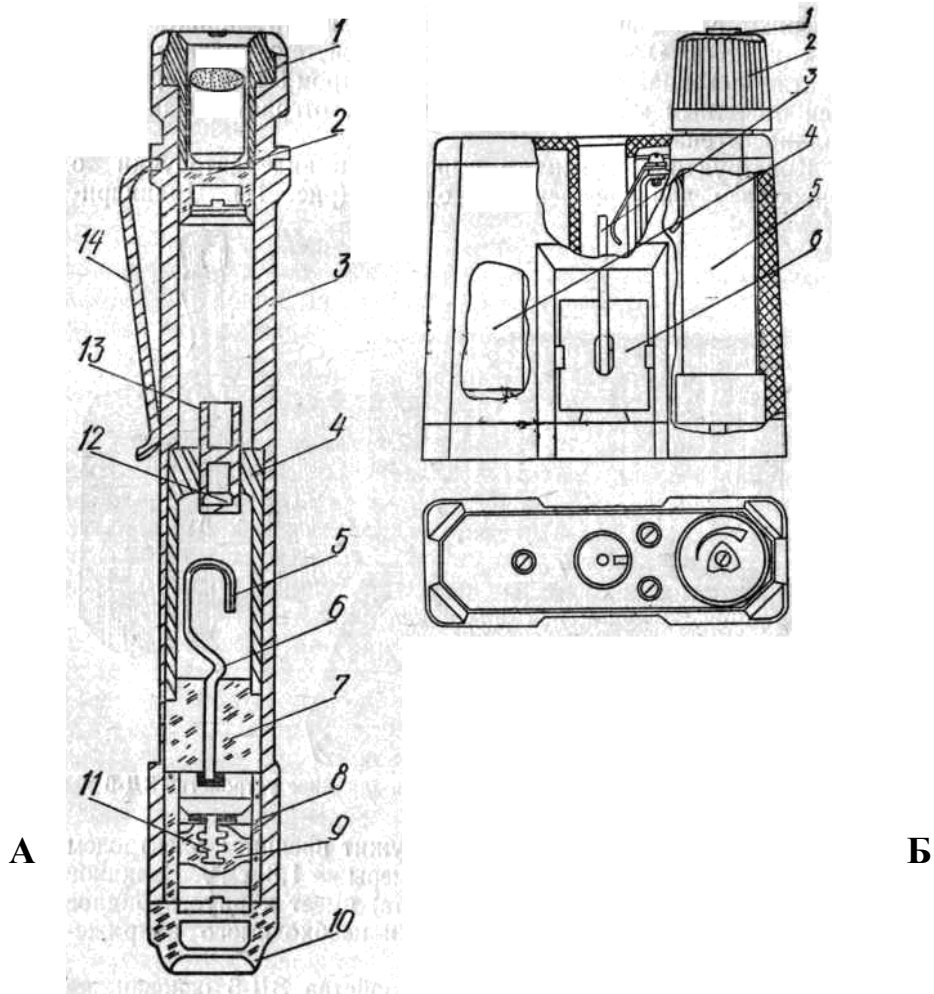


Рис. 2. Конструкція дозиметра ДК-02 (А)

1 – окуляр, 2 – шкала, 3 – корпус, 4 – іонізаційна камера, 5 – нитка, 6 – електрод, 7 – ізолятор, 8 – обмежувач, 9 – діафрагма, 10 – захисна оправа, 11 – контакт, 12 – об'єктив, 13 – корпус об'єктива, 14 – тримач.

Зарядний пристрій ЗД-6 (Б)

1 – тригранник, 2 – ручка потенціометра, 3 – зарядно-контактне гніздо, 4 – розрядник, 5 – перетворювач, 6 – дзеркало.

Питання для самоперевірки:

1. Назвіть основні методи виявлення і вимірювання радіації
2. Охарактеризуйте коліметричний метод виявлення і вимірювання радіації?
3. Розкрийте поняття глобальні комунальні аварії?
4. Одиниця виміру (у системі СІ), що використовуються для вимірювання поглинутої дози іонізуючого випромінювання?
5. Розкрити поняття закриті джерела опромінення?

Модуль 3. Чутливість рослин і тварин до іонізуючого опромінення

Тема 6. Дія іонізуючого випромінювання на основні молекулярні компоненти клітини і процеси метаболізму

Під впливом іонізуючої радіації в організмі порушується низка біосинтетичних процесів, внаслідок чого змінюється характер обміну речовин. Різноманітні його зміни у більшості випадків неможливо звести до однієї причини. І є всі підстави вважати, що вони, які звичайно виявляються вже на рівні окремих тканин, органів, цілісного організму, є наслідком не тільки безпосередньої дії радіації на певні молекулярні структури, а й вторинними реакціями інтегрального типу, як результат розвитку радіаційного ураження. Дослідженням хімічних перетворень, що відбуваються в живих організмах при дії іонізуючої радіації, займається окрема галузь радіобіології – радіаційна біохімія. Реакції і перетворення таких сполук, як ДНК, РНК, білки, амінокислоти, вуглеводи, ліпіди грають найбільш важливу роль в реалізації ураження живих організмів при опроміненні.

Дія випромінювання на нуклеїнові кислоти Ще на зорі розвитку радіобіології у 1905 р. німецький науковець М. Кьорнике в дослідах з кінськими бобами, які мають великі клітини і відносно невеликий набір хромосом, встановив, що найбільш чутливими до рентгенівського опромінення є меристематичні клітини, що знаходяться у стані поділу, а найбільш пошкоджуваною їх частиною – ядро. Під впливом опромінення відбувається порушення веретена поділу, спостерігаються розриви хромосом і порушення їх розходження, які в наступному отримали назву хромосомних аберацій, виникають двоядерні і багатоядерні клітини. І досить важливо, що ці цитологічні ефекти можуть спостерігатися вже у

найперші години після опромінення, коли ще відсутні будь-які інші візуальні порушення на рівні органів, організму в цілому. У подальшому розвитку біологічних наук, по мірі проникнення в молекулярні основи життєвих явищ і біохімічну суть процесів метаболізму все більш виявлялася провідна роль і значення клітинного ядра в усіх процесах, що відбуваються у головній структурно-функціональній одиниці всіх живих організмів, елементарній живій системі – клітині. Натепер встановлено, що в хромосомах клітинних ядер зосереджена основна маса ДНК, яка містить в структурі своїх макромолекул закодовану генетичну інформацію, необхідну для реалізації програми розвитку організму. У клітинному ядрі здійснюється синтез ДНК, який завершується подвоєнням її вмісту, редуплікацією хромосом і наступним поділом клітини – головних процесів, які забезпечують збереження спадкових ознак, ріст, розвиток і розмноження організмів. В ядрах статевих клітин відбуваються процеси злиття ДНК чоловічого і жіночого походження, процеси кросинговеру, які забезпечують завдяки обміну гомологічних ділянок молекул ДНК мінливість організмів та еволюцію форм життя на Землі. Він завершується мейозом, у результаті якого відбувається зменшення кількості хромосом і перехід клітин з диплоїдного стану у гаплоїдний. В основному в клітинних ядрах, точніше у ядришках, здійснюється синтез різних РНК, відповідальних за утворення різноманітних білків. Якщо до того ж врахувати, що в клітинних ядрах знаходяться гликолітична система і система окислювального фосфорилування, які забезпечують енергетику усіх вищеперерахованих процесів, синтезується никотинамідадениннуклеотид (НАД) – кофермент, необхідний для забезпечення дихання клітини, то стає зрозумілим виключно важлива роль ядра у найбільш суттєвих проявах життя клітини.

Зрозумілий і інтерес радіобіологів до досліджень радіочутливості цих процесів, їх спроби пов'язати радіобіологічні ефекти з ураженням клітинного ядра, хромосом, молекули ДНК. І дійсно, ДНК – найбільша за розміром і найбільш біологічно значима молекула є найбільш імовірною внутрішньо клітинною мішенню іонізуючої радіації. На теперішній час радіобіологія накопичила достатню кількість фактів, які доводять, що ураження у структурі і функціях ДНК, дезоксирибонуклеопротейного комплексу (ДНП), у складі якого головним чином знаходиться ДНК в клітинах еукаріотів, і більш складних утворень – хромосом, які складаються з цих макромолекул,

є основною причиною виникнення радіобіологічних ефектів і в першу чергу таких, як морфологічні зміни, променева хвороба, генетичні зміни, загибель організму.

Чисельні дослідження з дії різних типів іонізуючої радіації на структуру ДНК дозволили виділити цілу низку різноманітних типів її ураження, котрі можуть призвести до порушень її функцій. Вже за мінімальних доз у полінуклеїдному ланцюгу двотяжевої молекули ДНК виникають поодинокі розриви як наслідок ураження зв'язків в молекулі дезоксирибози чи ефірних фосфорнокислих зв'язків. Такі поодинокі розриви, не змінюючи молекулярної маси ДНК, можуть призводити до змін у вторинній структурі молекули, ковалентному приєднанню по місцю розриву інших молекул. Проте, виникнення поодиноких розривів у більшості випадків не є драматичною подією для клітини. Але із збільшенням дози опромінення і зростанням кількості поодиноких розривів, збільшується імовірність появи в молекулі подвійних розривів. Це може призводити до поперечних розривів молекули ДНК, тобто її деполімеризації, що є критичною реакцією і має вирішальне значення для виживання клітини.

Важливим типом радіаційного ураження структури ДНК є розриви водневих зв'язків між ланцюгами у подвійній спіралі, котрі можуть призводити до часткової її денатурації, ураженню основ та їх відщепленню від молекули, утворенню внутрішньо молекулярних і міжмолекулярних зшивок, виникненню зшивок основ і зшивок ДНК-білок, руйнуванню основ, виникненню перекисів тимину і цитозину, дезамінуванню, вивільненню основ та деяким іншим, і, зрештою, до зміни її фізико-хімічних властивостей і, відповідно, порушенню функцій.

Синтез ДНК являє собою унікальну подію в житті клітини, до якого вона готується протягом тривалого часу, після якого перестає існувати, давши початок життю двом новим клітинам. Синтез ДНК є дуже радіочутливим процесом. При опроміненні ссавців і деяких видів рослин (наприклад, кінських бобів) в дозах усього 0,5–1 Гр і навіть менших в клітинах їх постійно оновлювальних тканин (червоний кістковий мозок, епітелій кишечника, ендотелій судин у перших і в меристемах других) можна спостерігати достовірно зниження його інтенсивності вже через 1–2 год. А за летальних доз він, як правило, повністю припиняється через декілька годин після опромінення. Головною причиною пригнічення синтезу ДНК слід вважати пошкодження чи зміну її структури, структури ДНП і

надмолекулярної структури хроматину в цілому. Саме воно призводить до порушення нормального його перебігу, виникненню «помилки» при передачі інформації на РНК та іншим наслідкам, часом фатальними для клітини і усього організму. РНК, яка представлена у клітині декількома формами – матричною, рибосомальною, транспортною – належить до масових структур клітини: вони повторюються у багатьох копіях і в разі необхідності можуть бути синтезовані у необхідній кількості. Тому радіаційне порушення структури РНК не так відповідальне за ураження клітини, як ураження структури унікальної молекули ДНК. Типи ж радіаційних уражень РНК схожі з такими для ДНК. Синтез РНК вважається порівняно радіостійким процесом, хоча вплив опромінення на синтез окремих форм РНК неоднозначний. Безпосередньо під впливом опромінення в дозах, які повністю пригнічують синтез ДНК, сумарний синтез ДНК не змінюється протягом багатьох годин. Але у більш пізні строки (через добу) його швидкість знижується, що пояснюється звичайно вторинними причинами і, перш за все, пригніченням синтезу ДНК, безпосередньо пов'язаним з синтезом інформаційної та транспортної РНК. Втім, порушення регуляції ранніх етапів транскрипції РНК, зупинка синтезу РНК на ланцюгу ДНК можуть відбуватися за досить невисоких рівнях опромінення і призводити до ураження клітини.

Радіаційно-хімічні зміни білків, амінокислот і вуглеводнів. Радіочутливість білків в основному визначається радіочутливістю амінокислот, що входять до їх складу. Ряд радіочутливості амінокислот по мірі її зниження виглядає так: сірковмісні (цистеїн, метіонін), деякі циклічні (тирозин, триптофан, гистидін), такі, що містять азотовмісні групи (аргінін, аспарагін, глютамін), амінокислоти, що не містять в остатку приєднані групи або містять –ОН (фенілаланін, пролін, валін, лейцин, ізолейцин, гліцин, серин, треонин). Безперечно, дані з радіочутливості окремих амінокислот, отримані, як правило, в модельних умовах, не можна переносити на білки – їх ураженість залежить від співвідношення амінокислот, розташування їх остатків, структури білкової молекули. При дії іонізуючої радіації на білки, як і на інші високомолекулярні сполуки, виникають такі порушення: – конфігураційні видозміни молекули, не зв'язані із зміною молекулярної маси, але такі, що призводять до змін фізико-хімічних і біологічних властивостей білка; – утворення зшивок між молекулами, агрегація молекул, збільшення

молекулярної маси; – деструкція макромолекули з розривом пептидних або вуглеводних зв'язків, зменшення молекулярної маси; – хімічні перетворення активних груп на поверхні та у глибині білкової молекули (глобули), у першу чергу окислювального або відновлювального характеру. Деякі з цих змін (наприклад, хімічні перетворення активних груп) можуть бути пов'язані з іншими (наприклад, з конфігураційними перебудовами чи утворенням зшивок) і тоді всі зміни об'єднують під загальним поняттям денатурація білків. В принципі ж вважається, що синтез більшості білків і ферментів відноситься до радіостійких процесів. Навіть при надлетальних дозах, за яких повністю і практично миттєво припиняється синтез ДНК, поділ клітини і настає її репродуктивна загибель, не відбувається такого ж швидкого інгібування синтезу багатьох білків. Довгий час зберігається достатньо високою і активність багатьох білків-ферментів. Хоча, безперечно, до цього питання слід підходити достатньо диференційовано: ядерні білки, наприклад, менш радіостійкі, ніж більшість білків цитоплазми; активність деяких білків-ферментів, таких як нуклеази, що приймають участь у регуляції синтезу і розпаду нуклеїнових кислот, подавляється при порівняно невисоких дозах. Але в цілому можна однозначно стверджувати, що переважна кількість білків має значно більш високу радіостійкість, ніж нуклеїнові кислоти. З порушеннями структури і, відповідно, функцій білків пов'язане ослаблення здатності білків до молекулярного узнавання, що визначає здатність до самозбірки надмолекулярних структур, таких як мультиензимні комплекси, хроматин, цитоскелет, електронно-транспортний ланцюг мітохондрій (хлоропластів). Враховуючи множинність молекул окремих білків, можливість їх синтезу *de novo* у випадку дефіциту, за помірних опроміненнях живих організмів іонізуючою радіацією пряме ураження білкових молекул не має вирішального значення для життєздатності клітин. До вуглеводів, або сахаридів, належать речовини із загальною формулою $(\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O})_n$. При дії іонізуючих випромінювань на моносахариди виникають як окислені, так і відновлені продукти, які містять або таку ж кількість атомів вуглецю, що і вихідна молекула, або її низьковуглеводні фрагменти, а також високомолекулярні продукти полімеризації. При дії радіації на полісахариди спостерігаються складні зміни – порушення структури окремих мономерних одиниць, розриви глікозидних зв'язків. Розриви полімерних ланцюгів, що призводять до деполімеризації, є однією з

основних реакції на опромінення. Це стає причиною зміни їх фізико-хімічних властивостей: в'язкості, механічної пружності, набухання, розчинності, швидкості гідролізу.

Дія випромінювань на білково-ліпідні мембрани. Клітинні мембрани відділяють цитоплазму від навколишнього середовища, а також формують оболонки ядер, мітохондрій, пластид. Основу клітинної мембрани складає подвійний шар полярних ліпідів – фосфоліпідів. Приблизно половина поверхні ліпідного шару покрита білками. До складу мембрани входять також полісахариди. Їх розгалужені молекули ковалентно зв'язані з білками, утворюючи глікопротеїни, або з ліпідами – гліколіпіди. Плазматична мембрана, або плазмалема, – основна універсальна для всіх клітин мембрана. Вона являє собою тонку (близько 10 нм) плівку, що покриває усю клітину. Важливою властивістю і функцією мембран є вибіркова проникність для молекул і іонів різних речовин. Ця властивість визначає плазматичну мембрану як осмотичний бар'єр, що розділяє різні компартменти (свого роду відсіки) клітини, котрі призначені для тих чи інших спеціалізованих процесів і циклів. Окремі речовини переносяться через мембрану шляхом дифузії і активного транспорту. Молекули глікопротеїнів, що виступають з клітинної мембрани, приймають участь у розпізнаванні окремих речовин. Саме з розпізнаванням і пов'язана регуляція транспорту і переносу молекул і іонів через мембрану.

При дифузії речовини переносяться через пори мембрани за градієнтом концентрації, тобто з місця, де їх концентрація вища, до місця, де їх концентрація нижча. Активний транспорт вимагає витрат енергії і слугує для переносу речовин проти їх градієнту концентрації. Він здійснюється за допомогою вузько спеціалізованих ферментів трансфераз – білків-перенощиків, які утворюють так звані іонні насоси. Отже, біологічні мембрани як структурні елементи клітини є не просто фізичними кордонами між окремими її структурами, а являють собою динамічні функціональні поверхні, що регулюють обмін речовин між окремими частинами клітини. Крім того, на мембранах органел здійснюються чисельні біохімічні процеси, такі як синтез АТФ, перетворення енергії, активне поглинання речовин та інші. При дії іонізуючого випромінювання у мембранах виникають отвори, що призводить до порушень регульованого транспорту різних речовин і обмінних процесів в клітині. При великих дозах такі порушення можуть призвести до її

загибелі. У жирових і жироподібних – ліпідних структурах опромінення іонізуючою радіацією в присутності кисню призводить до утворення вільних радикалів і перекисів. Ці активні продукти, взаємодіючи з нейтральними молекулами ліпідів, поступово їх окислюють. Внаслідок розвиваються ланцюгові реакції окислення органічних сполук, в результаті чого утворюються високотоксичні продукти окислення – ліпоперекиси, ненасичені жирні кислоти, епоксиди, альдегіди, кетони та деякі інші. Встановлено, що при штучному введенні таких речовин в організм виникають симптоми отруєння, характерні для радіаційного ураження. Ці факти було покладено в основу ліпідної теорії дії іонізуючого випромінювання на живі організми. Таким чином, мембрани можуть бути мішенню дії іонізуючого випромінювання, так як навіть незначне їх ураження може змінити перебіг процесів метаболізму. Саме тому, як вже підкреслювалося, більш правильно мішенню дії іонізуючої радіації вважати не просто молекулу ДНК, а ДНК- мембранний комплекс.

Дія випромінювання на деякі фізіолого-біохімічні процеси рослин. Поряд з радіочутливими процесами як в організмі тварин, так і рослин є багато таких, які мають значно більш високу радіостійкість порівняно з синтезом нуклеїнових кислот і білків. При опроміненні рослин в дозах у декілька разів вищих за летальні деякі фізіологічні процеси, зокрема фотосинтез, дихання, поглинання елементів живлення, протягом досить тривалого періоду можуть залишатися без змін. Висока радіостійкість цих процесів свідчить про слабу ураженість іонізуючою радіацією елементарних структур клітин, які виконують певні функції. Так, фотосинтез є стійким до радіації внаслідок того, що для ураження хлоропластів необхідні надзвичайно високі дози опромінення. Це було встановлене в експериментах з ізольованими хлоропластами, які були здатні переносити дози γ -опромінення у тисячі грей. Мітохондрії, які забезпечують організм енергією при диханні, більш радіочутливі, ніж хлоропласти. Проте й вони мають незрівняну, наприклад, з хромосомами, більш високу радіостійкість. Надходження і транспорт у рослині елементів живлення пов'язане зі структурною цілісністю клітинних мембран і з функціонуванням систем конного транспорту, які забезпечують активний перенос окремих речовин. І хоча вже говорилося про високу радіочутливість мембран, в цілому транспортні системи мають досить високу стійкість щодо багатьох уражуючих чинників, у тому числі іонізуючій радіації. Особливо високу стійкість мають

системи пасивного переносу речовин. Безперечно, опромінення іонізуючою радіацією рослин чи тварин діє і на інші системи метаболізму, що може проявлятися у гальмуванні синтезу деяких речовин чи, навпаки, збільшенні кількості інших, зміни їх складу, співвідношення в клітині. Проте, на основі таких спостережень не завжди можна однозначно судити про порівняльну радіочутливість окремих процесів. Нерідко гальмування є вторинною функцією пригноблення, наприклад того ж синтезу ДНК, певних білків-ферментів, поділу клітин. Збільшення накопичення деяких речовин, наприклад сірковмісних амінокислот, може бути своєрідною захисною реакцією організму від радіаційного ураження

Питання для самоперевірки:

1. Радіаційно-хімічні ушкодження нуклеїнових кислот.
2. Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань.
3. Радіаційно-хімічні ушкодження білкових молекул.
4. Радіаційно-хімічні ушкодження ліпідів та вуглеводів.

Тема 7. Вимоги до облаштування і організації роботи у радіологічних лабораторіях

Усі роботи з використанням відкритих джерел радіації поділяються на 3 класи. Клас робіт залежить від активності радіоактивних речовин на робочому місці, пов'язаної з радіотоксичністю нукліда і встановлюється органами Держсанепідемслужби МОЗ, відповідно до таблиці 1. При внутрішньому плануванні слід передбачити їх зонування: перша зона “чиста” – це приміщення куди забороняється вносити радіоактивні речовини у будь-якому агрегатному стані. Друга зона “умовно чиста” – тут розміщують вимірювальні-розрахункові обладнання. Третя зона – “брудна” – це приміщення, де готують, розфасовують і зберігають радіоактивні препарати.

Робота з радіоактивними речовинами вимагає організованості, дисципліни та суворого дотримання основних правил поведінки з ними, що зводяться до наступного (табл. 4):

Клас робіт залежно від групи радіотоксичності ізотопу

Група радіотоксичності	Мінімально значима активність на робочому місці, кБк	Активність на робочому місці, кБк		
		Клас робіт		
		I	II	III
А	1	Понад 105	Від 100 до 105	Від 1 до 100
Б	10	Понад 106	Від 103 до 106	Від 10 до 103
В	100	Понад 107	Від 104 до 107	Від 100 до 104
Г	1000	Понад 108	Від 105 до 108	Від 103 до 105

- Відкривати оболонку радіоактивних препаратів категорично забороняється;

- Переносити радіоактивні речовини необхідно тільки в захисних контейнерах і витягати їх з них забороняється;

- При виконанні робіт робоче місце має бути на відстані не менше 0,5 метра від контейнера;

- Неможна залишати контейнер відкритим, заглядувати в нього, опиратися на нього;

- Час тривалості роботи з радіоактивними речовинами регламентується у відповідності до доз опромінення.

Чим вище клас робіт, тим суворіші вимоги до розміщення та обладнання приміщень, у котрих проводяться роботи з відкритими джерелами. На дверях таких приміщень вивішується знак радіаційної небезпеки з указаним класом робіт і напис **"Обережно, радіоактивність!"**

У всіх закладах, призначених для робіт з відкритими джерелами, приміщення кожного класу робіт рекомендується зосередити в одному місці. Роботи I класу мають проводитись в окремому будинку чи ізольованій частині будинку з окремим входом через санпропускник. Робочі приміщення мають бути обладнані герметичними боксами, камерами, іншим герметичним устаткуванням.

Приміщення для робіт I класу розділяються на три зони:

- **Перша** – приміщення, що не обслуговуються, в котрих розміщують технологічне обладнання і комунікації, що є основними джерелами радіації і радіоактивного забруднення. Перебування

персоналу в не обслуговуваних приміщеннях при працюючому технологічному обладнанні не допускається.

- *Друга* – приміщення періодичного обслуговування персоналом. Вони призначені для ремонту забрудненого устаткування, інших робіт, пов'язаних із розкриванням технологічного устаткування (вузлів завантаження і вивантаження радіоактивних матеріалів), а також для тимчасового зберігання сировини, радіоактивних відходів і готової продукції.

- *Третя* – приміщення постійного перебування персоналу протягом усієї зміни (операторські, пульти керування). У третій зоні розташовуються адміністративні і службові приміщення, медкабінет, майстерні ремонту чистого устаткування й апаратури, складські приміщення нерадіоактивних матеріалів, центральний пульт керування, електротехнічні приміщення, системи припливної вентиляції і вентиляційні агрегати витяжної системи.

Для виключення можливого виносу забруднення з приміщень 2-ї зони у приміщення 3-ї зони між ними облаштовується санітарний шлюз.

Приміщення для робіт 2 класу розміщують в окремій частині будівлі ізольовано від інших приміщень. Для проведення в одній установі робіт 2 і 3 класів за єдиною технологією виділяють загальний блок приміщень, обладнаний відповідно до вимог, що ставляться до робіт 2 і 3 класу. При цьому обов'язково влаштовують санітарний пропускник, шлюз або душову і на виході – пункт радіаційного контролю. Приміщення для робіт 2 класу мають бути обладнані витяжними шафами або боксами.

Роботи 3 класу виконують в окремих приміщеннях (кімнатах), обладнаних відповідно до вимог, що ставляться перед хімічними лабораторіями. У них виділяються приміщення (місця) для виготовлення і зберігання розчинів та рекомендується обладнання душової і спеціальної припливно-витяжної вентиляції. Роботи, пов'язані з можливістю радіоактивного забруднення повітря (операції з порошками, випаровування розчинів, робота з емульгуючими та летючими речовинами та ін.), повинні проводитись у витяжних шафах. Робочі столи, металеві та інші конструкції шаф покривають слабкосорбуючими матеріалами.

Приміщення лабораторії, що призначені для проведення робіт з радіоактивними речовинами, до початку експлуатації приймає по акту комісія у складі представників закладу, технічної інспекції

профспілкового комітету, органів внутрішніх справ, що дає право лабораторії на отримання, зберігання і використання радіоізотопів.

Улаштування, обладнання і внутрішнє планування лабораторії мають сприяти зниженню потужності дози до допустимих лімітів. Площа лабораторії в розрахунку на одного працюючого має становити не менше 10 м^2 .

Радіологічна лабораторія повинна мати спеціально сплановані приміщення: сховище-фасова ($15-20 \text{ м}^2$) і препаратурська радіохімічна ($15-20 \text{ м}^2$), радіометрична (1-2 кімнати – $10-16 \text{ м}^2$), санпропускник (душ) і побутові приміщення.

Підлогу в приміщенні покривають пластиком або лінолеумом, краї якого піднімають на висоту 20 см і заводять за плінтус на покриття стін. Щілини і стики покриття промазують мастикою або шпаклюють. Стіни у сховищі-фасовій, препаратурській і радіохімічній кімнатах на висоту 2 м обкладають глазурованим кахлем, вище 2 м стіни та стелю покривають масляною фарбою. Відділки приміщення і розміщення обладнання мають виключати накопичення пилу в кутках і забезпечувати легкість прибирання. Кутки приміщення повинні бути закругленими, полотна дверей і сплетіння вікон – мати прості профілі, а обладнання і робочі меблі – гладку поверхню, прості конструкції та малосорбуюче покриття. Для ефективності дезактивації всі комунікації (теплові, електричні, газові та водопровідні) роблять захованими. В лабораторії необхідно мати холодну та гарячу воду. Управління водопровідними кранами має бути ліктьове або педальне, а конструкція раковин – запобігати розбризкуванню води.

Лабораторію обладнують припливно-витяжною вентиляцією, що забезпечує протягом 1 години п'ятиразовий обмін повітря при швидкості його руху у витяжних шафах і боксах не менше 1,5 м/с. Потік повітря направляють із чистих приміщень у "забруднені", чим досягається більша кратність обміну його в забруднених приміщеннях лабораторії. Блок вмикання вентиляції розміщують при вході в лабораторію.

Роботи з дослідними зразками (розчини, порошки, летючі речовини та речовини, що легко випаровуються) проводять у витяжній шафі, всередині якої знаходяться підведення газу, стиснутого повітря, води, а також встановлені раковини для стоку води. У передню стінку шафи бажано вмонтувати рукавиці. Шафа повинна мати індивідуальну витяжну систему із спеціальними

фільтрам, достатню швидкість відсмоктування повітря.

Еталонні джерела і радіоактивні препарати зберігають у сейфах, що виключають доступ до них сторонніх осіб. Для зберігання переважно γ -активних речовин призначені сейфи, що мають товщину свинцевого захисту 20-50 мм. Для зберігання β -активних речовин використовують сейфи, що виготовлені з вуглеводної сталі товщиною 3-4 мм. В робочих кімнатах розмішують тільки найнеобхідніше обладнання, в тому числі контейнери для рідких і твердих відходів (рис. 3).

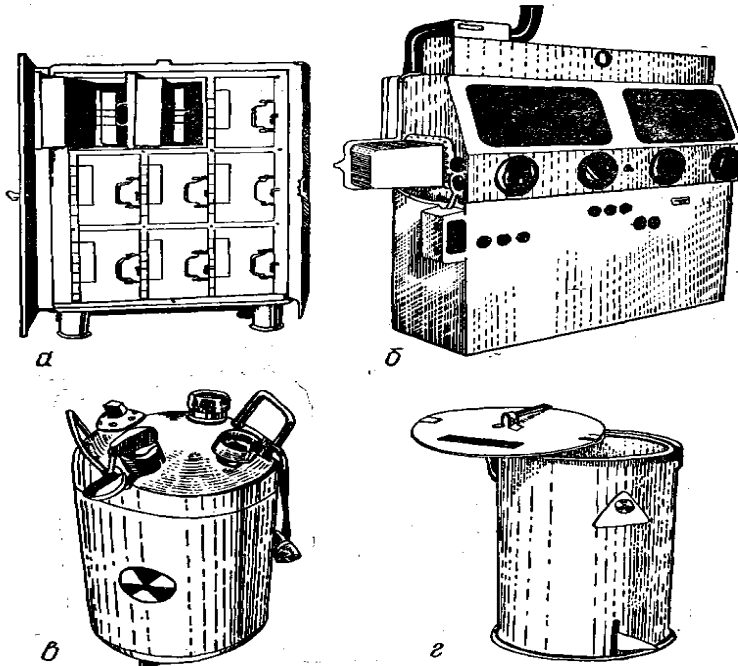


Рис. 3. Захисні обладнання для роботи з радіоактивними речовинами
 а – захисний сейф для зберігання радіоактивних речовин;
 б – металевий бокс на два робочих місця;
 в – контейнер для зберігання рідких радіоактивних відходів;
 г – контейнер для зберігання твердих радіоактивних відходів.

Звертають увагу на вибір будівельних матеріалів для радіологічних лабораторій. Оскільки, різні будівельні матеріали по різному поглинають радіацію. Так, бетон зберігає майже всю нанесену радіацію після обмивання водою, свинець – біля 75 %, скло – 20-50 %, деякі пластмаси – менше 1 %.

Матеріали, які слабо утримують радіацію, легко дезактивувати.

Питання для самоперевірки:

1. Класи робіт в лабораторіях?
2. Характеристика обладнання лабораторій?
3. На що треба звертати увагу при облаштуванні лабораторій?

Тема 8. Класифікація радіобіологічних ефектів.

Радіобіологічний ефект – це реакція живого організму на дію іонізуючого випромінювання, що характеризується зміною деяких його ознак та властивостей. Звичайно виділяють два основних класи радіобіологічних ефектів – соматичні та генетичні ефекти. До соматичних радіобіологічних ефектів належать зміни, які відбуваються в організмі протягом онтогенезу – періоду його індивідуального розвитку; до генетичних – пошкодження, що реалізуються в наступних поколіннях, тобто передаються нащадкам. Серед соматичних ефектів розрізняють п'ять основних типів: радіаційна стимуляція, морфологічні зміни, променева хвороба, прискорення старіння і скорочення тривалості життя та загибель. Генетичні, або мутагенні, ефекти утворюють самостійний клас.

5.1.1. Радіаційна стимуляція

Радіаційна стимуляція – це прискорення росту і розвитку організму при дії на нього іонізуючого випромінювання в дозах, в десятки, а іноді й сотні разів нижчих за ті, що викликають гальмування цих процесів. Радіаційна стимуляція рослин. Описаний вперше французькими дослідниками М. Мальдінеєм і К. Тувіненом в 1898 р., тобто лише через три роки після відкриття рентгенівських променів, ефект прискорення проростання опроміненого рентгенівськими променями насіння привернув увагу багатьох дослідників, які працювали з іонізуючими випромінюваннями. І в наступні роки з'явилась велика кількість робіт, присвячених радіаційній стимуляції рослин. Більшість їх проводилась на чисто емпіричній основі без знання і розуміння чисельних факторів, суттєвих для проявлення стимулюючої дії випромінювання, що, звичайно, часто приводило до суперечливих результатів. Експериментальний матеріал, одержаний в останні десятиліття з використанням нових методичних підходів, детальним обліком величини дози, типу випромінювання, індивідуальної радіочутливості об'єкту та ряду інших супутніх факторів беззаперечно довів існування ефекту радіаційної стимуляції. І в умовах звичайної радіобіологічної лабораторії можна підібрати для будь-якого виду насіння, проростків, пилку дозу рентгенівського або γ -випромінювання, при якій вдається спостерігати ефект радіаційної стимуляції в тій чи іншій формі, наприклад, прискорення росту рослин. Ці дози варіюють в досить широких межах як для насіння, так і для проростків, що залежить не тільки від виду культури, а і від сорту і навіть партії насіння. При

цьому для проростків і вегетуючих рослин вони, як правило, в декілька разів, а іноді і на порядок нижче, ніж для насіння.

Стимулюючу дію радіації за швидкістю росту рослин реєструють, як правило, тільки протягом перших 4–6 днів. Ріст рослини – це відображення процесів поділу і розтягнення його клітин. Тому при стимулюючих дозах повинно спостерігатися прискорення цих процесів. Дійсно, в періоди максимальної стимуляції росту відзначається збільшення кількості мітотичних клітин у меристемах. Ефект радіаційної стимуляції спостерігається не тільки при одноразовому опроміненні насінин або рослин, а й при хронічному, коли рослина опромінюється протягом всього вегетаційного періоду. Так, видатний американський радіобіолог А.Х. Сперроу із Брукгейвенської національної лабораторії у США, спостерігав в умовах гамма-поля стимуляцію росту рослин ротиків (лева паща) при потужності дози 2,3–2,85 Гр/доб. Потужність досить висока. Не дивно, що при трохи більшій – 3,3–4 Гр/доб – відмічалось пригнічення росту.

Є підстави вважати, що незвичайно високий урожай озимих зернових культур в Україні, особливо у північній частині, в 1986 р. був наслідком радіаційної стимуляції за рахунок підвищеного радіаційного фону, викликаного аварією на Чорнобильській АЕС. Такої думки дотримуються і деякі радіобіологи інших країн, зокрема Білорусі, Угорщини, Болгарії, де також того року був відмічений різкий стрибок врожайності деяких сільськогосподарських культур, який важко пояснити іншими причинами. Які ж механізми ефекту радіаційної стимуляції у рослин, чому під впливом малих доз іонізуючої радіації їх клітини швидше діляться, зумовлюючи в подальшому прискорення росту і розвитку рослин? На жаль, дати однозначну відповідь на це питання непросто. Радіобіологи, які вивчали радіаційну стимуляцію на молекулярно-біохімічному рівні, показали, що опромінення рослин веде до активації багатьох процесів обміну: посилюється синтез нуклеїнових кислот, білків, гормонів, підвищується активність деяких ферментних систем, посилюється надходження в рослини елементів живлення, підвищується інтенсивність фотосинтетичного фосфорилування і відповідно фотосинтезу та багатьох інших. Але все це наслідок. Що ж первинне? Ефект стимуляції зовсім не є якоюсь унікальною властивістю іонізуючої радіації. І за допомогою деяких інших як фізичних, так і хімічних чинників можна індукувати прискорення ростових процесів.

В рослині існує дуже чутливий до всякого роду факторів фітогормональний комплекс речовин-активаторів і інгібіторів росту, зміна вмісту яких або зміна співвідношення між якими може приводити до стимуляції або гальмування ростових процесів. І вплив на ріст рослин пов'язаний в першу чергу з впливом на цей комплекс. Іонізуюча радіація в цьому відношенні не є винятком. Доведено, що під впливом стимулюючих доз в рослинах збільшується вміст фітогормонів-активаторів росту – ауксинів, гіберелінів і цитокінінів, які зумовлюють активацію метаболічних процесів, що зрештою приводить до прискорення росту і розвитку рослин. Посилення ж активності фітогормональної системи є, на думку О.М. Кузина (1977), результатом неспецифічної дерепресії і активації під впливом іонізуючої радіації певної групи генів. В останні роки в радіобіологічній літературі все частіше став з'являтися новий термін "радіаційний гормезис", яким позначається не що інше, як радіаційна стимуляція. Акцентування уваги в позначенні ефекту на стані гормональної системи (термін "гормезис" утворений від слова "гормон") вказує на те, що саме змінам в роботі цієї ланки метаболізму під впливом малих доз іонізуючої радіації приділяється головна роль.

Радіаційна стимуляція тварин. Про стимулюючу дію іонізуючих випромінювань на тваринний організм можна судити за тими ж критеріями, що і при опроміненні рослин, тобто прискоренню чи посиленню під впливом опромінення таких функцій як ріст, розвиток, продуктивність. Найбільш цікавими слід вважати досить чисельні дослідження з опромінення у стимулюючих дозах курячих яєць, курчат і курей. Показано, що опромінення яєць до інкубації в дозах від 0,01 до 0,05 Гр веде до помітного збільшення виводжування курчат, зменшення відходу курчат в подальшому, прискорення на 10–12 днів початку періоду яйценосності, збільшення яйценосності в цілому. Опромінення курчат в дозах до 0,25 Гр приводить до збільшення їх виживання, прискорення процесів росту, статевого дозрівання, початку яйцекладки. Опромінення дорослих курей в дозі 0,05 Гр за даними деяких дослідників веде до збільшення яйценосності на 18%. Достовірних даних про радіаційну стимуляцію ссавців небагато. Показано, що хронічне опромінення щурів при потужності дози 0,002 Гр/год веде до підвищення їх плодючості: кількість народжених щуренят більш ніж в два рази перевищувала таку в контрольній групі. Спостерігали також прискорення росту,

збільшення абсолютної маси тіла і стимуляцію функції відтворення у мишей, які протягом всього життя одержували їжу, що містила деяку кількість радіонуклідів. Більш визначені результати по стимуляції плодючості під впливом опромінення у малих дозах були отримані в експериментах зі спермою риби, ікрою та личинками. На великому матеріалі показана стимуляція розвитку ембріонів прісноводних риб, культивованих в умовах γ -опромінення: личинки накльовувались на 9–11 днів раніше, ніж в контролі. Даних про радіаційну стимуляцію людини як цілісного організму немає. Але є дані про прискорення швидкості поділу і росту клітин людини, зокрема широко відомого штаму HeLa в умовах культури при опроміненні в дозах 0,05–1 Гр. Це дає певні підстави вважати, що малі дози іонізуючої радіації і у людини можуть викликати стимуляцію роботи деяких систем.

Радіаційна стимуляція мікроорганізмів. Є дані про те, що хронічне γ - опромінення кишкової палички, аспергілюса, азотобактера при потужності дози 0,03–0,6 Гр/год стимулює їх ріст і діяльність. При гострому опроміненні стимуляція проявляється при дозах порядку декількох десятків і сотень грей. Завершуючи розділ про радіаційну стимуляцію, варто відзначити, що не дивлячись на досить великий експериментальний матеріал, який однозначно доводить існування цього явища, далеко не всі радіобіологи вважають його достатньо очевидним. Деякі, враховуючи незадовільну відтворюваність результатів стимулюючого ефекту, відсутність достатньо аргументованих пояснень його механізмів, ставлять під сумнів його існування, розцінюючи це явище як артефакт. Інші вважають, що при опроміненні в малих дозах не відбувається прямого стимулювання, а ефекти, які спостерігаються, є результатом певних пошкоджень і подальшої ініціації процесів, які мають компенсаторний характер. Буквально з дня відкриття протягом вже більш як століття інтерес до радіаційної стимуляції систематично переживає підйоми і спади. В останні роки знову відмічається черговий спалах інтересу до проблеми. Разом із введенням нового терміну "радіаційний гормезис" знову з'явилась велика кількість робіт про вплив малих доз іонізуючої радіації на прискорення росту, розвитку, збільшення маси різних органів у рослин, на активацію окремих сторін метаболізму, активність різних систем у тварин та інші. На жаль, глибоких робіт, щоб пояснювали причини гормезису, так і немає.

Питання для самоперевірки:

1. Радіційна стимуляція мікроорганізмів?
2. Радіаційна стимуляція тварин?
3. Поясніть термін радіобіологічний ефект.

Тема 9. Морфологічні та генетичні зміни під впливом іонізуючого випромінювання

Морфологічні зміни – це зміни під впливом іонізуючого випромінювання зовнішнього вигляду організму, окремих його органів, анатомічної структури – ознак, що відрізняють його від батьківських форм. Говорячи про морфологічні зміни організму під впливом іонізуючих випромінювань, слід виключити явища, пов'язані зі зміною його загальних розмірів і впливом на темпи розвитку. В даному випадку слід розуміти перш за все відхилення від характерних ознак, властивих тому чи іншому виду, роду, породи, сорту. Але ознаки ці не спадкові, це – відхилення від норми, спотворення, які мають місце тільки в поколінні опромінених організмів. Морфологічні зміни рослин. У вивченні радіобіологічних ефектів у рослин важливе місце займає опис дуже різноманітних морфологічних аномалій. Поява переважної більшості з них пояснюється виникненням в рослинах химерності – спотворень, які є наслідком зміни схеми просторового розподілу клітин в опромінених органах, наприклад, появи клітин зі сповільненою швидкістю поділу, з абераціями хромосом, випадання декількох клітинних рядів внаслідок загибелі окремих ініціальних клітин, або індукцією до поділу клітин у тканинах і органах, що знаходились у стані спокою, та багатьох інших порушень. Саме цими причинами можна пояснити зміну форми органу, перерізу, скручуваність, зморшкуватість, дихотомію, фасціації та інші відхилення від норми. Такі рослини з усіма підставами можна назвати "радіаційними химерами". І саме за допомогою опромінення насіння і проростків іонізуючою радіацією були одержані перші індуковані химери у рослин.

Збільшення розмірів та кількості органів, віднесених до розряду морфологічних змін, необхідно відрізнити від описаної в попередньому розділі радіаційної стимуляції. Ці аномалії є проявом гіперфункції клітин і тканин, які залишились не пошкодженими або пошкодженими в меншій мірі, ніж решта; наслідком компенсаторних

механізмів, які включаються в дію при втраті функції у частини органів. Так, загибель верхівкової бруньки, що активно ділиться, і зняття апікального домінування веде до пробудження пазушних бруньок, які перебувають в стані спокою і тому мають більш високу радіостійкість. Вони утворюють у опромінених рослин додаткові пагони, листки і квітки. Збільшення розмірів плодів може бути наслідком стерильності частини квітів і зменшення кількості плодів, що зав'язалися. Нерідко при повному опаданні квітів і суцвіть чи їх стерильності рослини, формуючи дуже великі органи за рахунок перерозподілу поживних речовин, накопичують вегетативну масу вдвічі більшу, ніж неопромінені. Внаслідок радіаційного ураження на листі, стеблах, коренях, квітках та інших органах рослин можуть з'являтися пухлиновидні нарости. В нормі у рослин пухлино подібний ріст спостерігається рідко, хоча і відомі факти його індукування нематодами, комахами, деякими видами бактерій і вірусів. Найрізноманітніші морфологічні зміни у рослин доводилось спостерігати в зоні аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 р. В 1987 р. та в наступні роки їх кількість значно зменшилась і вони залишились переважно у хвойних рослин, що змінюють хвою раз на декілька років, а також на багаторічних органах, зокрема на гіллі.

Втім вони виникали у рослин, що були висаджені вже після аварії на місцях з високим рівнем радіонуклідного забруднення. При цьому вони мали дещо інший характер. Найбільш розповсюдженим стало зняття апікального домінування – загибель верхівки, що призводить до неприродного а А Б розгалуження і виникненню кущоподібних форм дерев, оголення стовбура і верхівок дерев, викривлення стовбура, поява гілок з жовтою (безхлорофільною) і абсолютно білою (депігментованою) хвоєю.

Різноманітні форми колосся – справжні виродки можна було знайти серед самосіву пшениці, не зібраної восени 1986 р. Морфологічні зміни тварин. В радіобіології тварин цей тип радіобіологічних ефектів, як правило, не виділяється. Хоча різні зміни окремих органів і тканин тваринного організму, що розвиваються в різні строки після опромінення, описані досить повно. Опромінення дорослих особин може викликати появу всіляких виразок з подальшим утворенням на їх місці рубців, пігментацію і депігментацію шкіри та волосяного покриву, припинення росту і випадання останнього.

Описано багато інших ефектів, які змінюють характерний вигляд тварин: припинення росту рогових утворень і їх відшарування, виникнення. Як у рослин, у тварин морфологічні зміни виникають за рахунок радіаційного ураження тканин, клітини яких знаходяться у стані активного поділу, тобто мають високу радіочутливість. Саме нерівномірне ураження клітин в таких тканинах призводить до диспропорцій у рості, випаданню окремих ділянок твірних тканин з процесів росту, виникненню у них мутацій та інших пошкоджень, які і призводять до аномалій розвитку.

Генетичні, або мутагенні, ефекти – це набуті в результаті опромінення іонізуючою радіацією морфологічні зміни чи деякі ознаки і властивості, що відрізняють організм від батьківських форм, які проявляються у наступних поколіннях. Такі пошкодження особливо небезпечні і підступні, так як виникають випадково і можуть проявлятися аж до двадцятого покоління. Виділяють три основних типи мутацій: 1. Генні, або точкові, мутації, що є наслідком зміни окремих генів; 2. Аберації хромосом – мутації, пов'язані з порушенням структури хромосом; 3. Мутації каріотипу – мутації, пов'язані зі зміною числа хромосом; їх називають також геномними мутаціями. Під впливом опромінення мутації можуть виникати як в статевих, так і в соматичних клітинах. Перші називають генеративними мутаціями, другі – соматичними. Незалежно від того, в яких клітинах виникають зміни, мутаційний процес, індукований іонізуючими випромінюваннями, носить не спрямований характер. Іншими словами, при опроміненні виникають мутації, що змінюють будь-які властивості і ознаки організму. Виникнення радіаційних мутацій пов'язується, як правило, з прямими фізичними руйнуваннями ділянок хромосом іонізуючим випромінюванням чи індукованим ним потоком частинок, або з функціональною інактивацією життєво необхідних унікальних структур клітини під впливом продуктів радіолізу. Тому природно, що мутагенний ефект залежить від дози радіації. Вивчення залежності частоти виникнення як видимих морфологічних мутацій, так і аберацій хромосом від дози звичайно показує однозначну картину: крива доза-ефект має або лінійний, або близький до лінійного характер. Аналогічні залежності одержані і для інших типів мутацій.

Із збільшенням дози кількість мутацій зростає, але знижується виживання організмів. Тому при певному порівняно високому рівні доз криві виходять на плато, або навіть кількість мутацій починає

зменшуватися – на кривій з'являється максимум. Для рентгенівської і γ -радіації звичайно є тенденція до виходу числа мутацій на плато при 1–2% виживання, коли кількість мутантів досягає 50% від усіх індивідуумів, що вижили. Мірою генетичної дії іонізуючих випромінювань є доза, яка подвоює кількість мутацій. Оцінити її нелегко. Для ссавців, деяких радіочутливих видів рослин вона варіює в досить широкому діапазоні доз – від 0,1 до 1 Гр. При збільшенні радіаційного фону, ступеня забруднення ґрунту, рослин, кормів, продуктів харчування радіоактивними речовинами імовірність виникнення мутацій збільшується. Мутації, що виникають при опроміненні в статевих клітинах ссавців, можуть бути настільки серйозними, що плід, який формується з них, може виявитися нежиттєздатним і загинути. Такі мутації називають летальними – смертельними. В інших випадках мутаційні зміни можуть бути сумісними з життям, але проявляються у вигляді виродків різного ступеня, спадкових хвороб. Із збільшенням дози небезпека виникнення обох типів мутації зростає. Особливо вона велика для потомства тварин, які пережили променеву хворобу середнього та тяжкого ступеню. Слід підкреслити, що вищі рослини внаслідок наявності специфічної форми – насінини, котра являє собою фазу онтогенезу, в якій вони перебувають в стані спокою, а також завдяки можливості використання в експерименті чи роботі дуже великого числа особин з однаковими генетичними характеристиками (колос, качан, зонтик, волоть, головка та інші суцвіття, що здатні дати від батьківської форми сотні і тисячі однакових нащадків), є дуже зручним об'єктом для досліджування мутаційного процесу. І не випадково, що саме роботи в області радіаційного мутагенезу рослин одержали найбільше поширення в світі.

Питання для самоперевірки:

1. Поясніть генетичний ефект радіації на організм?
2. Які зміни на морфологічному рівні відбуваються з живими організмами?
3. Поясніть поняття радіаційного мутагенезу.

Модуль 4. Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях

Тема 10. Заходи спрямовані на поліпшення рослинництва і тваринництва на забруднених територіях

Сільськогосподарська діяльність є невід'ємною частиною життя сільського населення, і тому його проживання на забруднених радіонуклідами територіях доцільне і можливе тільки в тому разі, коли існуюча радіаційна обстановка допускає безпечне для здоров'я проведення всіх робіт у рільництві, тваринництві та інших галузях, а також виробництво продукції, придатної для необмеженого використання у якості продуктів харчування і сировини для промисловості.

Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях повинно здійснюватись згідно положень відповідних нормативних документів про умови проживання й трудову діяльність населення на територіях з підвищеними рівнями радіаційного забруднення, з додержанням принципів радіаційної безпеки і основних санітарних правил роботи з радіоактивними речовинами та забезпечувати виробництво продуктів харчування, що не містять радіоактивних речовин вище допустимих рівнів. Сільське господарство на забруднених радіонуклідами територіях повинно бути спрямоване на вирішення головного завдання – виробництва сільськогосподарської продукції, споживання котрої без обмежень не приведе до перевищення середньорічної ефективної еквівалентної дози опромінення людини. Це досягається за рахунок впровадження у виробництво таких заходів:

1. Підвищення загальної культури ведення сільськогосподарського виробництва з дотриманням необхідних прийомів радіаційної безпеки;

2. Проведення спеціальних радіозахисних заходів, основною метою яких є мінімізація переходу радіонуклідів в продукцію рослинництва і тваринництва;

3. Перепрофілювання напрямів сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях, яке забезпечить виключення одержання окремих видів продукції з підвищеним вмістом радіонуклідів.

Якщо впровадження цих заходів не забезпечує виробництва продукції, що відповідає санітарно-гігієнічним нормативам, ведення

сільськогосподарського виробництва на цій території припиняється. Максимальне зменшення розповсюдження радіоактивних речовин за межі забруднених ділянок – дуже важливий принцип ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях. Він досягається за рахунок залісення, проведення різних видів меліоративних робіт. Ці заходи не повинні призводити до суттєвих змін у родючості ґрунту, погіршення якості продукції та викликати інші несприятливі наслідки. До раціонального мінімуму повинен бути зведений вивіз сільськогосподарської продукції за межі забрудненої території. Останнє, однак, не може бути перепорою для використання поза неї продукції, у якій кількість радіонуклідів відповідає державним санітарно-гігієнічним нормативам.

Запобігання переходу радіонуклідів з ґрунту в рослини, тобто гальмування їх руху на початковій і найвідповідальнішій ланці їх короткого харчового ланцюжку – одне з головних сучасних завдань не тільки сільськогосподарської радіоекології, а й загальної радіобіології, так як спрямоване у кінцевому підсумку на протирадіаційний захист людини. В залежності від властивостей ґрунту, ступеню його забруднення радіоактивними речовинами, а також видів сільськогосподарських рослин, що вирощуються, шляхів використання врожаю та деяких інших умов застосовують різні засоби, які можуть зменшити нагромадження радіонуклідів в продукції рослинництва і кормовиробництва в багато разів. Згідно з однією з класифікацій вони поділяються на дві групи:

1. Загальноприйняті заходи, застосування яких забезпечує ведення звичайного рівня рільництва або навіть сприяє збільшенню родючості ґрунту, зростанню врожаю, якості врожаю і водночас приводить до зменшення переходу радіонуклідів в рослини;

2. Спеціальні заходи, головною метою яких є виключно зменшення надходження радіонуклідів в рослини. Таке розподілення, звичайно, має дуже умовний характер, тому що загальноприйняті засоби у певних ситуаціях можуть бути трактовані як спеціальні і навпаки.

Тому слушно визначити п'ять основних комплексних систем зниження надходження радіонуклідів у рослини, які враховують як загальноприйняті, так і спеціальні механічні, агротехнічні, агрохімічні, хімічні та біологічні заходи: обробіток ґрунту, застосування хімічних меліорантів та добрив, зміни складу рослин у

сівозміні, зміни у режимі зрошення і застосування спеціальних речовин та прийомів.

Обробіток ґрунту. Після випадання радіоактивні опади концентруються головним чином у верхньому досить тонкому шарі ґрунту. При порівняно невисоких рівнях забруднення ґрунту достатнім заходом може бути обробка звичайними фрезерними машинами або важкими дисковими боронами, а також оранка відвальними плугами на звичайну глибину 20–25 см. Змішування забрудненого поверхневого шару з більш глибоким різко зменшує розповсюдження радіоактивних опадів з вітром і суттєво знижує забруднення рослин аеральним шляхом. За високих рівнів забруднення ефективним прийомом є загортання забрудненого шару ґрунту плантажним плугом на глибину 50–75 см з обертанням скиби. Це приводить до зменшення нагромадження рослинами радіоактивних продуктів у зоні переважного розташування кореневих систем у 5–10 разів. Безперечно, внаслідок такої оранки бідних дерново-підзолистих ґрунтів, можна очікувати істотного погіршення родючості, практично, до повної її втрати. Проте у ряді випадків вона необхідна, так як знижує можливість поверхневого вітрового підйому і перенесення, змиву радіоактивних речовин, а також на порядок знижує радіаційний фон на місцевості. Крім того, при достатньому внесенні органічних та мінеральних добрив, вапна на кислих або гіпсу на лужних ґрунтах, врожай може і не зазнавати суттєвого зниження. Глибоке заорювання радіоактивних речовин – енергоємний захід, що вимагає багато зусиль і коштів. Тому його можна рекомендувати лише у виключних випадках під певні культури і, як правило, на невеликих площах. Хоча в Японії в районі аварій на АЕС «Фукусіма» на порівняно родючих і потужних червоноземах він застосовувався більш успішно. За дуже високих рівнів забруднення проводять знімання верхнього шару ґрунту. З цією метою використовують нетрадиційну для агрономічної практики шляхоприбиральну, шляхобудівельну або спеціально сконструйовану техніку.

Проте зняття поверхневого шару на глибину усього 5 см дає до 500 м³ ґрунту з 1 га. Більш того, навіть за допомогою спеціальних машин в умовах поля практично неможливо зняти шар такої товщі, і тому об'єм ґрунтової маси може значно збільшуватись. Таку кількість ґрунту важко знімати, транспортувати, а головне – захоронити. Тому очищення поверхні ґрунту за допомогою цього прийому може бути

рекомендоване лише в тих випадках, коли кількість радіонуклідів на них значно перевищує межі допустимих рівнів. Іноді при дуже високих рівнях забруднення рекомендується засипка поверхневого радіоактивного горизонту товстим (0,5–1 м) шаром чистого ґрунту, вибраного з глибини. Безперечно, такий захід важко провести на значних територіях. Як і глибока оранка, знаття верхнього шару ґрунту, він може мати лише локальне застосування. Більшість розглянутих прийомів, які зв'язані з обробітком ґрунту, мають характер спеціальних заходів і ефективні лише у перший рік після випадання радіоактивних речовин. Якщо ж була проведена оранка і поверхневий забруднений шар перемішався на глибину орного шару, проведення їх часто втрачає сенс. У такому разі необхідно звернутися до інших засобів. Одним з найбільш ефективним на всі наступні роки є застосування хімічних меліорантів і добрив.

Застосування хімічних меліорантів і добрив. Роль хімічних меліорантів, як речовин, що покращують фізико-хімічний стан ґрунтів; мінеральних та органічних добрив, як постачальників елементів живлення рослин, в умовах забруднення угідь радіонуклідами не змінюється. Проте, вони можуть набувати нових функцій, які пов'язані з їх фізико-хімічними та хімічними властивостями. В умовах кваліфікованого застосування в певних формах, кількостях та співвідношеннях за допомогою них можна у багато разів зменшувати надходження радіонуклідів в рослини. Вапнування та роль кальцію. Радіоактивні речовини часто-густо надходять у навколишнє середовище у вигляді нерозчинних і важкорозчинних необмінних форм. Проте з часом при контакті з водою, киснем повітря вони можуть переходити в розчинний обмінний стан. Цьому особливо сприяє кисла реакція середовища. І було помічено, що на кислих ґрунтах в рослини надходить більша кількість радіонуклідів, ніж на нейтральних чи лужних. В зв'язку з цим спосіб вапнування кислих ґрунтів, котрий широко застосовується у практиці сільського господарства, як виявляється, не тільки сприяє поліпшенню умов росту рослин, але також і зниженню надходження у них радіонуклідів. Головним компонентом вапна є кальцій – хімічний аналог стронцію у вигляді окису, гідроокису, вуглекислої солі. Тому внаслідок конкуренції, антагонізму між ними надходження в рослини ^{90}Sr зменшується, як правило, у більшій мірі, ніж ^{137}Cs . Вапнування застосовують звичайно на підзолистих, дерново-підзолистих, деяких болотних, торфових ґрунтах, менше на сірих

лісових ґрунтах. На дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтах Полісся при вмісті гумусу до 3% потребу у вапні можна визначити за рН сольової витяжки з ґрунту із урахуванням його механічного складу.

Вапнування кислих забруднених радіонуклідами ґрунтів слід вважати одним з головних засобів, що суттєво гальмують перехід радіонуклідів з ґрунту в рослини. Згідно з даними різних авторів, одержаних за 29 років після аварії на Чорнобильській АЕС, воно дозволяє зменшувати вміст ^{90}Sr в картоплі до 5–10 разів, у сінні бобових трав – в 6–8 разів, в овочах – в 4–6 разів, в ягодах – в 3–5 разів. Для ^{137}Cs ці кратності, як правило, дещо нижчі. Зрозуміло, що внесення вапна та інших вапняних матеріалів можливе лише на кислих ґрунтах. Що стосується лужних ґрунтів, то збагачення їх на кальцій може проводитися за рахунок гіпсування. На нейтральних ґрунтах можна вносити збалансовані кількості вапняних матеріалів та гіпсу. Але слід відзначити, що досвід гіпсування ґрунтів з метою зменшення надходження радіонуклідів в рослини значно скромніший, ніж вапнування. Калійні добрива. Надходження ^{137}Cs в рослини та нагромадження його в урожаї у значній мірі визначається вмістом в ґрунті і в самих рослинах його хімічного аналогу – калію. З підвищенням кількості калію в ґрунті зменшується надходження ^{137}Cs в рослини. Тому внесення калійних добрив у підвищених кількостях, особливо під рослини калієфіли, є одним з головних засобів зменшення вмісту цього радіонукліду в продукції рослинництва.

Підсилення калійного живлення рослин зменшує і надходження ^{90}Sr . Особливо виразно це проявляється також на підзолистих та дерново-підзолистих ґрунтах. Так, додавання калійних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах легкого механічного складу знижує нагромадження ^{90}Sr в урожаї зернових, картоплі і овочевих рослинах в 2–3 рази. Зменшення надходження цього радіонукліду під впливом калійних добрив звичайно пояснюється відомим антагонізмом між калієм з одного боку, і кальцієм та ^{90}Sr з другого.

Фосфорні добрива. Солі фосфорних кислот здатні утворювати зі стронцієм, як, до речі, і з іншими елементами другої групи, слабо розчинні чи навіть практично нерозчинні сполуки типу вторинних і третинних фосфатів. На підставі цього цілком слушно було припущено, що внесення в ґрунт фосфорних добрив повинно зменшувати перехід ^{90}Sr в рослини. І досить великий масив науково-

дослідницьких і виробничих даних свідчить про те, що внесення фосфорних добрив в будь-яких формах на будь-яких відмінностях зменшує нагромадження ^{90}Sr практично всіма видами рослин в 2–6 разів. Найбільш ефективними є добрива, які містять фосфати кальцію та калію. Так, внесення в ґрунт фосфатів калію у декілька разів знижує в рослинах вміст як ^{90}Sr , так і ^{137}Cs . Інші фосфати – амонію, натрію, магнію впливають, головним чином, тільки на кількість ^{90}Sr .

Азотні добрива. На забруднених радіонуклідами ґрунтах слід обережно підходити до використання азотних добрив. Існує немало даних про те, що при їх внесенні збільшується накопичення в рослинах як ^{137}Cs , так і ^{90}Sr . Основною причиною цього вважається можливе підкислення ґрунтового розчину і зростання в цих умовах рухомості практично всіх елементів живлення, в тому числі і радіоактивних, при застосуванні традиційних для України і більшості країн Європи аміачної селітри – фізіологічно кислої форми азотних добрив, а також карбаміду, який, розкладаючись в ґрунті на аміак та вуглекислоту, здатний також сприяти зсуву реакції середовища у бік підкислення.

Мікродобрива. Певна роль у зниженні надходження радіонуклідів в рослини належить мікроелементам. Дія мікроелементів особливо значуща на ґрунтах з їх дефіцитом. Саме такими є ґрунти Полісся і півночі Лісостепу, найбільш піддані радіонуклідному забрудненню внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС. І багатогранна роль, яку грають мікроелементи в житті живих організмів, дозволяє припустити різні механізми їх впливу на поведінку радіонуклідів у ланці ґрунт–рослина. Деякі з них, будучи хімічними аналогами радіонуклідів, можуть вступати з ними в конкурентні відносини при надходженні з ґрунту в рослини. Вони можуть впливати на проникність клітинних мембран для радіонуклідів з певними іонними радіусами, зарядом, геометрією координаційної та електронної конфігурацій; можуть активізувати або, навпаки, гальмувати системи транспорту окремих радіонуклідів; утворювати комплексні сполуки з різними речовинами, в тому числі і фізіологічно активними, котрі впливають на надходження радіонуклідів в рослини та їх пересування в окремі органи. І особливо гостро всі ці ефекти можуть проявлятися в умовах природного або штучного дефіциту мікроелементів. Саме тоді їх додаткове внесення приводить до максимально виражених позитивних результатів.

Органічні добрива. Внесення в ґрунт органічних добрив збільшує ємність ґрунтового вбирного комплексу і може суттєво зменшувати надходження в рослини радіонуклідів. До того ж органічні добрива, основну масу котрих складають розкладені рештки рослин, містять у збалансованих кількостях чи близьких до таких всі необхідні для рослин макро- та мікроелементи, багато з яких знижують надходження радіонуклідів в рослини. Пташиний послід містить ще й у підвищених кількостях кальцій. Особливо ефективним є внесення гною, перегною, низинного торфу, сапропелів на ґрунтах легкого механічного складу. При цьому органічні добрива запобігають переходу в рослини не тільки ^{90}Sr і ^{137}Cs , але й багатьох інших радіонуклідів, таких як ^{106}Ru , ^{144}Ce і навіть ^{239}Pu та ^{241}Am , які не мають хімічних аналогів-антагоністів серед елементів живлення. При використанні органічних та інших місцевих добрив слід дотримуватися певних правил. Гній, компост, попіл, одержані в місцевості з підвищеною щільністю радіонуклідного забруднення, можуть перетворитися на джерело вторинного забруднення ґрунту. Не слід також вносити їх на овочево-картопляних сівозмінах, продукція яких йде безпосередньо в раціон людини часто-густо без будь-якої кулінарної обробки. Найбільш доцільно використовувати такі добрива під технічні культури, на насінницьких ділянках, у сівозмінах кормового напрямку.

Таким чином, застосування хімічних меліорантів і добрив на забруднених радіоактивними речовинами ґрунтах при дотриманні певних правил і закономірностей є одним з головних засобів зменшення їх кількості в рослинах. При цьому треба враховувати і те, що зниження радіоактивності продукції рослинництва досягається не тільки за рахунок зменшення їх переходу з ґрунту, але й за рахунок розбавлення при збільшенні врожаю.

Різні види рослин з неоднаковою інтенсивністю поглинають і накопичують у своїх органах окремі радіонукліди. Тому при плануванні заходів по зменшенню їх надходження в сільськогосподарські культури слід звертати особливу увагу на добір у сівозміні як видового складу рослин, так і сортового. Велике значення у формуванні сівозміни на забруднених радіонуклідами території можуть мати сортові особливості рослин. Так, окремі сорти гороху за здатністю накопичувати ^{90}Sr відрізняються в 2,5 рази, а сорти ярої пшениці за здатністю нагромаджувати ^{137}Cs – майже у два рази. Що ж стосується озимої пшениці, то різниця у накопиченні

цього радіонукліду різними сортами досягає 5 разів. Є відомості щодо 3-кратних коливань у накопиченні ^{137}Cs різними сортами кукурудзи, картоплі.

Відомо досить багато всіляких відносно простих і складних, природних та штучних речовин, внесення яких у ґрунт зменшує перехід радіонуклідів у рослини. Серед них можна виділити два основних класи – адсорбенти і комплексонати. Перші поглинають радіонукліди, роблячи їх недоступними для рослин, другі – утворюють з радіонуклідами складні сполуки, переводячи їх у важко розчинні не засвоювані рослинами форми або, навпаки, легко розчинні, котрі вимиваються з кореневмісного шару у глибинні горизонти ґрунту.

Більше 95% радіонуклідів надходить до організму продуктивних сільськогосподарських тварин з кормом, основу якого складають рослини. З водою надходить порівняно невелика їх частка. Отже, основне завдання тваринництва на забруднених радіонуклідами територіях полягає у забезпеченні тварин „чистими” кормами. На жаль, це не завжди можливе, і тому система прийомів зменшенні переходу радіонуклідів в продукцію тваринництва складається з декількох прийомів: покращення кормової бази; складання раціонів; включення до раціонів добавок і препаратів, що перешкоджають переходу радіонуклідів в продукцію тваринництва і деяких організаційних заходів.

Важливу роль у запобіганні переходу в організм сільськогосподарських тварин радіонуклідів відіграє оптимізація мінерального живлення. Найбільше практичне значення у цьому відношенні, як і при розробці систем мінерального живлення рослин, являє кальцієве і калійне живлення. Кальцій в організмі хребетних тварин грає особливу роль, складаючи основу скелета, а у ссавців – ще й головний мінеральний компонент молока. При дефіциті в організмі кальцію його місце можуть посідати хімічні аналоги – в першу чергу елементи другої групи періодичної системи, серед котрих знаходиться і стронцій. Саме тому порушення кальцієвого живлення може призводити до збільшення накопичення в організмі тварин ^{90}Sr . У той же час збагачення раціону кормами, які містять кальцій, наприклад, бобовими травами, додавання мінерального підкорму у вигляді вуглекислих, а особливо фосфорнокислих, солей кальцію являє собою дешевий і доступний спосіб обмеження переходу ^{90}Sr із шлунково-кишкового тракту в тканини – тобто в

продукцію тваринництва. Так, додавання вуглекислого кальцію до раціону телят і поросят протягом одного місяця зменшувало відкладення в організмі цього радіонукліду приблизно удвічі. Введення кальцію до раціону корів знижує його вміст в молоці у 8–12 разів. При цьому зростання рівня кальцію в кормах понад 80 г на добу, що є верхньою межею нормальної фізіологічної потреби тварин у цьому елементі (40–80 г на добу), практично вже не впливає на нагромадження радіонукліда.

Один з найрадикальніших заходів – перепрофілювання господарств. Так, у господарствах, розташованих на малородючих заболочених ґрунтах з великими значеннями КН і КП радіонуклідів в рослини і високою щільністю забруднення навіть зі застосуванням захисних прийомів досить важко одержати молоко, яке відповідає б нормативним вимогам. Або витрати на реалізацію цих прийомів стають не вигідними. У такому випадку доцільніше перепрофілювати молочне скотарство на м'ясне.

Питання для самоперевірки:

1. Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіонуклідами територіях?
2. Які заходи треба приміняти для зменшення надходження радіонуклідів в рослини?
3. Які заходи треба приміняти для зменшення надходження радіонуклідів в тваринницьку продукцію?

Список літератури

1. Алексахин Р.М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М.: Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М.: Колос, 1999. – 380 с.
5. Гайченко В. А. Практикум з радіобіології та радіоекології / В. А. Гайченко, І. М. Гудков, В. О. Кашпаров. – К.: Кондор, 2010. – 286 с.
6. Гродзинський Д.М. Радіобіологія / Д. М. Гродзинський. – К.: Либідь, 2000. – 448 с.
7. Гудков І. М. Радіобіологія / І. М. Гудков. – К.: НУБіП України, 2016. – 485 с.
8. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии / И. Н. Гудков. – К.: Изд-во УСХА, 1991. – 327 с.
9. Гудков І.М. Сільськогосподарська радіобіологія / І. М. Гудков, М. М. Віннічук. – Житомир: Вид-во ДАУ, 2003. – 472 с.

Навчальне видання

РАДІОБІОЛОГІЯ

Методичні рекомендації

Укладачі:

Стародубець Олексій Олександрович

Гроза Варвара Ігорівна

Формат 60×63 1/16 Ум. друк. арк. 3,94 .

Тираж 50 прим. Зам. № ____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного аграрного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Григорія Гонгадзе, 9
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490
від 20.02.2013 р.