

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

О.І. ГЕРАСИМОВ

РАДІОЕКОЛОГІЯ
ЗА
ГАЛУЗЯМИ

Підручник

Затверджено Вченою радою Одеського державного екологічного університету
Міністерство освіти і науки України як підручник для здобувачів вищої освіти за
спеціальністю «Екологія» (протокол № 8 від 24.09.2015)

Одеса
ТЕС
2016

ББК -22.3
УДК 57.043:63:37.022

Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного
екологічного університету (протокол №8 від 24.09.2015)

Рецензенти:

Член-кореспондент Академії педагогічних наук України,
зав. каф. Медичної та біологічної фізики
Національного медичного університету
ім. О.О. Богомольця (м. Київ),
д.ф.-м.н., проф. О.В. Чалий
Зав. каф. хімії навколишнього середовища
Одеського державного екологічного університету,
д.т.н., професор О.Н. Софронков

Г – 37 Герасимов, Олег Іванович

Радіоекологія за галузями: Підручник / О.І. Герасимов; Одеськ. держ. екол.-ний ун-т.
Одеса: ТЕС, 2016. 100 с.

Підручник має за мету стисле концентроване вкладення, деяких вибіркового розділів Радіоекології, яка є структурно – змістовним елементом, такої що стрімко розвивається нової галузі Технологій захисту навколишнього середовища.

Матеріал зорієнтовано на студентів, які проходять спеціалізацію за напрямками, які пов'язані із охороною, збереженням та раціональним використанням складових навколишнього середовища.

Акцент підручника зроблено на формуванні понятійних уявлень, та концептуальної бази складових з курсу Радіоекології слухачів, які мають попередню підготовку на рівні курсів загальної фізики та математики вищих навчальних закладів міждисциплінарних напрямів підготовки.

Підручник може бути рекомендовано студентам, магістрам, аспірантам, викладачам та науковим співробітникам з природничих та міждисциплінарних напрямів підготовки.

ISBN 978-617-7337-19-4

© Одеський державний екологічний університет, 2016

Передмова

Запропонований підручник «Радіоекологія за галузями» має на меті сформуванню уявлення про дисципліну, яка є комплексом різних дисциплін, взаємне перекриття яких відбувається на шляху порозуміння впливу радіаційного опромінення на штучні або природні об'єкти, біологічні тканини та живі організми, його наслідків і шляхів захисту та реабілітації.

Підручник є далеко не першою спробою в літературі запропонувати збірку методичних матеріалів, які дозволяють опанувати положення дисципліни. Але він має окрему мету: сформуванню уявлення про неї, як скоріше природничу, інженерну дисципліну, яка витікає з фізики іонізуючого випромінювання (без якого саме поняття «радіоекологія» взагалі втрачає сенс).

Автор був учасником і співавтором розробки діючого державного стандарту Міністерства освіти і науки України з дисципліни «Радіоекологія» і одним з ініціаторів введення її модифікації «Радіоекологія за галузями», яка дозволяла б орієнтувати в загальному напрямку з урахуванням доробок та специфіки кожного ВНЗ, на базі якого здійснюється випуск фахівців.

Матеріал, який пропонується, був відібраний саме з урахуванням цієї стратегії конкретно на прикладі кафедри загальної і теоретичної фізики, яка готує спеціалістів, бакалаврів та магістрів з цієї спеціальності починаючи з 2005 року, і за цей час накопичила вагомий досвід. Безумовно, радіоекологія, як така, є вкрай актуальною, як у сучасному світі, так і конкретно для населення та господарства України. Взагалі, за сучасних умов людство приречене скоріше співіснувати із радіацією у різноманітних її проявах, ніж піти шляхом її тотального або локального усунення (достатньо згадати сумний приклад Чорнобильської катастрофи). Навмисно дуже стисло висвітлені лише вибірково розділи з ядерної енергетики, радіобіології та деякі інші, які, з урахуванням вищесказаного, можуть складати зміст окремих навчальних видань. Взято до уваги, що студенти міждисциплінарних напрямків мають попередні знання з фізики, обмежені програмою курсу загальної фізики, до якої елементи квантової, атомної і ядерної фізики входять вибірково. Наприкінці кожного розділу наведені контрольні запитання для самоперевірки якості засвоєння матеріалів.

Підручник призначений для студентів та викладачів, які мають справу з вивченням або викладанням «Радіоекології» як спеціалізуючої дисципліни і зокрема для студентів, магістрів та аспірантів Одеського державного екологічного університету, який є базовим у галузі.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ I. ВВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ	8
§1.1 Радіоекологія та радіобіологія	8
§1.2 Історія розвитку радіоекології.....	8
§1.3 Уявлення про радіацію	9
РОЗДІЛ II. ОСНОВИ ФІЗИКИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ.....	17
§2.1 Будова атома	17
§2.2 Радіоактивний розпад.....	21
§2.3 Активність. Закон ядерного розпаду.....	26
§2.4 Характеристика іонізуючих випромінювань та взаємодія їх з речовиною.....	27
§2.5 Нейтронні випромінювання.....	32
§2.6 Виявлення і вимірювання випромінювань.....	34
РОЗДІЛ III. ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ДОЗИМЕТРІЇ	36
§3.1 Поняття дозиметрії.....	36
§3.2 Основні дози випромінювання.....	37
§3.3 Ліміти дози та допустимі рівні.....	44
§3.4 Сучасні прилади дозиметрії.....	48
§3.5 Кишенькові прилади для індивідуального дозиметричного контролю.....	49
§3.6 Переносні прилади групового дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю.....	55
§3.7 Методи дозиметрії.....	58
§3.8 Методи визначення радіоактивності.....	62
РОЗДІЛ IV. МІГРАЦІЯ РАДІОНУКЛІДІВ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ	66
§4.1 Міграція радіонуклідів в атмосфері.....	66
§4.2 Міграція радіонуклідів у водоймах.....	68
§4.3 Розподіл радіонуклідів у морській екосистемі.....	70
§4.4 Міграція радіонуклідів у ґрунті.....	71
§4.5 Міграція радіонуклідів у лісі.....	72
§4.6 Групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення Радіонуклідів.....	75

РОЗДІЛ V. ЕЛЕМЕНТИ РАДІОБІОЛОГІЇ ТА РАДІОМЕДИЦИНИ.....	75
§5.1 Поняття радіаційної медицини.....	75
§5.2 Опромінення в медичних цілях.....	76
§5.3 Інші види опромінення.....	77
РОЗДІЛ VI. ЗАХОДИ І ПРИНЦИПИ ДЕЗАКТИВАЦІЇ ТА РЕАБІЛІТАЦІЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ І ТЕРИТОРІЙ.....	80
§6.1 Деактивація харчових продуктів.....	80
§6.2 Зменшення забруднення житлових приміщень.....	81
§6.3 Деактивація ґрунту.....	81
§6.4 Очищення питної води.....	82
РОЗДІЛ VII. НОРМИ І ПРИНЦИПИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ.....	83
§7.1 Принципи радіаційної безпеки.....	83
§7.2 Принципи нормування радіаційного впливу та доступні рівні опромінення осіб різних категорій	85
§7.3 Захист від іонізуючого випромінювання.....	89
§7.4 Види радіаційних аварій та їх класифікація.....	91
РОЗДІЛ VIII. ВИПРОБУВАННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ	93
§8.1 Поняття про атомну зброю	93
§8.2 Продукти ядерного поділу та наслідки ядерних вибухів.....	95
ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК	97
ЛІТЕРАТУРА	99

ВСТУП

Серед питань, що становлять науковий інтерес, одним з особливо гострих, і тих, що приковують до себе постійну увагу громадськості, є питання про дію радіації на людину і навколишнє середовище.

Радіаційна обстановка Землі за останні 70 років зазнала суттєвих змін: до початку Другої світової війни у всіх країнах світу було близько 12 г одержаної в чистому вигляді природної радіоактивної речовини - радію. Після вироблення ядерного палива реакторами АЕС, підводних і надводних кораблів, науково - дослідних центрів залишаються сотні тонн радіоактивних відходів. Радіоактивні речовини і джерела іонізуючих випромінювань використовуються практично у всіх галузях промисловості, охорони здоров'я, при проведенні наукових досліджень. Все це впливає на зміни в природному середовищі Землі, що виникли за роки випробувань ядерної зброї.

Світова громадськість почала виявляти серйозне занепокоєння з приводу впливу іонізуючих випромінювань на людину і навколишнє середовище з початку 50-х років. Справа не тільки в тому, що в пам'яті людей були ще свіжі жахи бомбардувань Хіросіми і Нагасакі, а в тому, що в результаті випробувань ядерної зброї в атмосфері, радіоактивний матеріал став поширюватись по всій Земній кулі.

Протягом майже 40 років ядерних випробувань на Землі відбувалося накопичення радіоактивності. У біосфері було викинуто 12,5 т продуктів розпаду. Наприкінці випробувань ядерної зброї в атмосфері радіоактивне забруднення на поверхні Землі на 2% перевищило природний фон. Ще більше наростає рівень радіації в результаті аварій, виробництва і зберігання радіоактивних відходів. Так, аварія на ЧАЕС призвела до викиду в біосферу 15 тонн радіоактивних речовин, що перевищує викид за всі роки випробувань атомної зброї в атмосфері. В результаті радіоактивна забрудненість відзначена в багатьох країнах, але особливо велика вона в ряді регіонів України, Білорусії, Росії.

В результаті аварій сьогодні на дні Світового океану знаходиться шість атомних підводних човнів з дев'ятьма атомними реакторами і 50 ядерними боеголовками. З метою захоронення радіоактивних відходів тільки США з 1946 по 1970 роки скинули в океан 86000 контейнерів сумарною радіоактивністю близько 95 кКю. Захороненням радіоактивних відходів у морях займалися Бельгія, Великобританія, Нідерланди, Швейцарія, Франція, Німеччина, Швеція, СРСР. Все це становить величезну потенційну небезпеку для екології.

Застосування атомної енергетики в діяльності людини веде до утворення великої кількості радіонуклідів, які утворюються в процесі

розпаду важких ядер і можуть надходити в природні середовища, забруднювати їх і включатися в екологічні ланцюги міграції.

Науковий комітет ООН з дії радіації (НКДАР) збирає всю доступну інформацію про джерела радіації та її вплив на людину і навколишнє середовище. НКДАР був створений Генеральною Асамблеєю в 1955 році для оцінки в світовому масштабі доз опромінення, їх ефекту і пов'язаного з ними ризику. Раз на кілька років він публікує доповіді, що містять докладні оцінки доз радіації, їх ефекту і небезпеку для населення від всіх відомих джерел іонізуючих випромінювань.

Радіація, дійсно, смертельно небезпечна. При великих дозах вона спричиняє серйозні ураження тканин, а при малих може спричинити виникнення злоякісних пухлин та індукувати генетичні дефекти, які можуть проявлятися у дітей та онуків людини, яка зазнала опромінення, або у його більш віддалених нащадків.

Радіація, пов'язана з розвитком атомної енергетики, становить малу частку радіації, породжується діяльністю людини; значно більші дози людина отримує від інших джерел, що викликають набагато менше нарікань, наприклад, від застосування рентгенівських променів в медицині.

Вирішення цих вкрай актуальних проблем розглядається одним з новітніх розділів радіаційної медицини та біології - радіаційною екологією - науку, що досліджує взаємодію радіаційних факторів середовища як з окремими складовими екосистем (популяціями, співтовариствами, біоценозами), так і з екосистемами в цілому, з метою виявлення їх закономірностей, прогнозування та розробки заходів профілактики патологічних реакцій екосистемного рівня.

РОЗДІЛ І

ВВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ

§1.1 Радіоекологія та радіобіологія

Радіоекологія, або радіаційна екологія, – це розділ радіобіології, який виник на стику її з екологією. Радіоекологія вивчає концентрації та міграцію радіоактивних речовин в навколишньому середовищі та вплив їх іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання.

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

Останніми десятиліттями об'єктами вивчення радіобіології стали не тільки живі організми та їх угруповання, але й біологічно важливі молекули, клітини й популяції клітин, окремі процеси метаболізму. І утворилось нове визначення радіобіології – це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі системи всіх рівнів організації. Це формулювання не є альтернативним першому – вони обидва правильні.

Основним завданням радіобіології є вивчення закономірностей впливу іонізуючих випромінювань на живий організм з метою пошуку можливостей щодо керування його реакціями на цей фактор. Іонізуюче випромінювання передбачає вивчення механізмів взаємодії випромінювань з речовинами клітин і тканин, чутливості живих організмів до іонізуючих випромінювань, розробку засобів їх захисту від радіаційного ураження і шляхів пострадіаційного відновлення, дослідження шляхів міграції і біологічної дії інкорпорованих організмами радіонуклідів. Втім, останнє завдання є основним для окремого розділу радіобіології – радіоекології.

Головною метою цих завдань є зменшення уражаючої дії іонізуючих випромінювань на живі організми, і в першу чергу на людину, шляхом послаблення їх дії за допомогою різних чинників фізичної і хімічної природи, обмеження надходження радіоактивних речовин до організму харчовими ланцюгами, виведення радіоактивних речовин з організму, індукцією процесів пострадіаційного відновлення.

Вивчення наслідків забруднення екосистем радіоактивними речовинами слід розглядати як новий абіотичний фактор середовища існування організмів, що впливає на популяції та угруповання живих організмів з відносно сталим значенням протягом тривалого часу.

Саме ці проблеми є домінуючими у розвитку радіоекології. Специфікою радіоекології як самостійного наукового напрямку є вивчення взаємодії популяцій живих організмів і забрудненого радіоактивними ізотопами навколишнього середовища, що забезпечує можливості розвитку, виживання і визрівання організмів, умови формування структури і динаміки популяцій та угруповань організмів.

Нині основні завдання радіоекології можна сформулювати таким чином:

- ретельне вивчення різних джерел надходження радіоактивних ізотопів у навколишнє середовище з метою зменшення їх потоків;
- спостереження за міграцією радіонуклідів трофічними ланцюгами, у тому числі тими, що спрямовані до людини;
- вивчення реакції живих організмів на хронічне іонізуюче випромінювання в процесі тривалого розвитку в радіаційній екосистемі;
- вивчення синергічного впливу абіотичних і біотичних факторів середовища існування радіоактивного забруднення на живі організми;
- визначення загальних закономірностей радіаційного добору і механізмів радіаційної адаптації, які сприяють виживанню і відтворенню популяцій в умовах радіаційного забруднення.

§1.2 Історія розвитку радіоекології

Своїм виникненням як самостійної науки радіоекологія зобов'язана трьом великим відкриттям у галузі фізики: в 1895 р. німецьким фізиком В.К. Рентгеном Х- променів, названих пізніше його ім'ям; в 1896 р. французьким фізиком А.А. Беккерелем природної радіоактивності та у 1898 р. французькими фізиками, подружжям М. Склодовською - Кюрі і П. Кюрі радіоактивних властивостей полонію та радію. Всі вони були удостоєні Нобелівської премії - однієї з найпочесніших нагород світу за досягнення в галузі науки.

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

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

Етапи розвитку радіобіології і радіоекології. Перший етап. Про біологічну дію іонізуючих випромінювань стало відомо майже відразу після їх виявлення. Вони були шкідливими для здоров'я тих, хто працював з рентгенівськими апаратами та радіоактивними речовинами. Однією з перших жертв випромінювання став сам А.А. Беккерель.

Від променевої хвороби померла М. Склодовська-Кюрі, її дочка І. Кюрі та її чоловік Ф. Жоліо-Кюрі - визначні французькі фізики, які відкрили у 1934 р. явище штучної радіоактивності елементів, за що також

були вшановані Нобелівською премією. Лише рання загибель П. Кюрі внаслідок катастрофи позбавила його тієї ж долі. Незважаючи на заходи щодо безпеки роботи з радіоактивними речовинами та випромінюваннями, до 80-х років вже було відомо близько 500 дослідників, які загинули від іонізуючої радіації.

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

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

Наприкінці XIX і в перші два десятиріччя XX століття було відкрито багато різноманітних ефектів іонізуючих випромінювань. Зокрема, описано явище радіаційної стимуляції рослин, яке полягає в тому, що на відміну від високих доз радіації, які гальмують ріст і розвиток живих організмів, малі дози можуть, навпаки, прискорювати ці процеси. Виявлено також порушення поділу клітин при опроміненні, гальмування окремих процесів обміну речовин. За цей час було встановлено багато фактів, які підтвердили дію рентгенівського випромінювання та випромінювань радіоактивних елементів на різні біологічні об'єкти. Радіобіології як самостійної науки ще не існувало. Для її становлення не було головного - теорії, яка б пояснювала природу дії радіації на організм. Потреба в такій теорії була цілком очевидною. Нагально потребував пояснення так званий «радіобіологічний парадокс» - явище, що полягає у великій невідповідності між дуже малою величиною поглинутої при опроміненні енергії іонізуючого випромінювання та ступенем прояву реакцій біологічного об'єкта, що нерідко призводить до його загибелі.

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

У цей період сформувалась теорія прямої дії випромінювання, що доводила можливість безпосередньої взаємодії випромінювань з мішенню,

та непрямой дії, яка підтверджувала, що головну роль у радіаційному ушкодженні відіграють процеси взаємодії продуктів радіолізу води, з якої на 90% складаються живі клітини, з мішенню.

В цей час відкрито «кисневий ефект», суть якого в тому, що при зменшенні в середовищі концентрації кисню ступінь променевого ушкодження знижується.

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

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

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

Третій етап. Використання США в 1945 р. атомної бомби в Японії, масові випробування в наступні роки атомної зброї в ряді країн, в тому числі й у колишньому СРСР, призвели до реальної загрози радіаційного ушкодження біосфери. Цей період, коли різко зріс інтерес до наслідків біологічної дії іонізуючої радіації, знаменує початок третього етапу розвитку радіобіології.

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

У 50-ті роки була експериментально доведена властивість клітини відновлюватись після ушкоджень, завданих опроміненням.

Для тих років характерним є також широке використання досягнень радіобіології для вирішення практичних завдань. Розширюється фронт використання іонізуючих випромінювань у медицині, їх починають

ефективно використовувати в сільському господарстві. В радіобіології виділяються багато самостійних напрямів, у тому числі й сільськогосподарська радіобіологія.

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

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

У зв'язку з випробуванням багатьма країнами в 50-ті і на початку 60-х років ядерної зброї та глобальним забрудненням Землі штучними радіоактивними речовинами перед радіобіологією постають нові завдання у вивченні закономірностей їх міграції в біосфері, шляхів надходження в рослини, організми тварин та людини, особливості дії на організм інкорпорованих (які надійшли усередину) радіоактивних речовин, що нерівномірно розподіляються по тканинах, з різною швидкістю виводяться з нього.

У цей період бурхливо розвивається радіоекологія, формується сільськогосподарська радіоекологія, основу якої в той час становили дослідження природної радіоактивності ґрунтів, сільськогосподарських рослин і тварин, шляхів міграції природних та штучних радіоактивних речовин в цих об'єктах. Великий внесок у розвиток цих досліджень в 50-80-ті роки внесли українські радіоекологи Д.М. Гродзинський, О.О. Городецький, А.І. Даниленко.

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

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

Основними з них є:

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

§1.3 Суть і зміст радіації

Радіація (radiation) – це іонізуюче випромінювання (електронів, позитронів, мезонів, нейтронів, ядер елементів, електромагнітних коливань), взаємодія якого з середовищем приводить до утворення іонів різних знаків. Радіація є скрізь. Вона надходить з космосу, з природних земних речовин, утворюється при горінні та вугільно - топливному циклі. Наземні джерела радіації забезпечують приблизно 5/6 дози природного опромінення населення, а космічні – менше 1/6 дози.

Радіація була, є і буде завжди і скрізь. Радіоактивні елементи входять до складу Землі з початку її існування і продовжують бути присутніми дотепер. Радіація представлена корпускулярними частинками (альфа, бета, нейтронна) та електромагнітними хвилями (гама, рентгенівське), енергія яких має іонізуючу дію. Оптичні і радіохвилі теж відносяться до електромагнітних випромінювань, але не здійснюють іонізації, оскільки мають низьку енергію.

Електромагнітні іонізуючі випромінювання – це рентгенівське і γ - випромінювання радіонуклідів. До корпускулярного випромінювання відносять електрони, позитрони, ядра атомів водню (протони), дейтерію (дейтрони), гелію, π -мезони, нейтрони.

Джерелами радіації є: космічна, земна. Земну радіацію можна поділити на природну і штучну. Земні джерела радіації розрізняють на закриті і відкриті.

Термін “радіація” введений у науку П'єром Кюрі і Марією Складовською-Кюрі (1898) і застосовується не тільки до іонізуючого

випромінювання, але і для цілого ряду інших фізичних явищ, наприклад, сонячна радіація, тепла радіація тощо.

Класифікацію іонізуючої радіації можна здійснювати таким чином:

- Корпускулярна (носії має масу спокою);
- Фотонна (електромагнітні хвилі).

У свою чергу корпускулярна радіація поділяється наступним чином: альфа - випромінювання, бета випромінювання, потік частинок (протонів, нейтронів тощо), а фотонна – на гама - , рентгенівське та ультрафіолетове випромінювання.

Радіація характеризується своєю іонізуючою і проникною здатністю. Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища, або на одиницю довжини шляху, який вона проходить у середовищі. Проникна здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення, перетворення, або інтеграції.

Радіація може бути природною і штучною, створеною людиною. Іонізуюче випромінювання може бути електромагнітним, корпускулярним, що при взаємодії з речовиною безпосередньо чи опосередковано спричиняє збудження й іонізацію атомів і молекул. Радіація утворюється при палінні, телевізійною і комп'ютерною технікою, діагностичною рентген апаратурою. Утворюється радіація при пожежах, вулканічних процесах тощо. Радіація – це не щось нове, створене людиною, вона існувала, існує і буде існувати вічно. Радіація існувала задовго до зародження життя, вона мала місце в космосі навіть до виникнення Землі.

Радіацію не можна побачити, почути, осягати, понюхати (органи чуття не реагують на іонізуюче опромінення), зважити, але можна визначити її дози спеціальними дозиметричними приладами. Радіація має кумулятивний ефект, тобто малі дози опромінювання можуть накопичуватися і підсумовуватися. Радіація має не тільки пряму дію на організм, який опромінюється, а і опосередковану на потомство (генетичний ефект). Різні організми мають різну чутливість до радіації.

Радіація – це явище, що відбувається в радіоактивних елементах, ядерних реакторах, при ядерних вибухах, що супроводжуються виділенням частинок і різних випромінювань, які по-різному впливають на живі системи і їх угруповання. Іонізуюче випромінювання є один із проявів фізико-хімічних процесів цього явища. А проникна радіація – це фактор ураження органічних субмолекул, клітин, тканин, органів, організму, що супроводжується їх руйнуванням, опіками, утворенням токсичних речовин, ушкодженням імунної системи, зниженням резистентності тощо.

Радіація – це випромінювання, що прямо чи опосередковано здатне іонізувати середовище.

Радіація може бути простою – це окремо взяті альфа-, бета-частинки, гама-хвилі тощо; і змішаною – всі форми іонізуючого випромінювання разом взяті.

На планеті в різних місцях, у різні сезони року різний рівень радіації. Природний радіаційний фон формується космічним випромінюванням, а також іонізуючим випромінюванням від природних радіонуклідів, що знаходяться в землі, воді, повітрі. Концентрація природних радіонуклідів у природі варіює у широких межах. Середня потужність поглинутої дози у повітрі на висоті 1 м над поверхнею землі становить 4,5 мкрад/год, в приміщеннях – приблизно 5,3 мкрад/год, тоді як, наприклад, у місті Гуарапарі (Бразилія) до 200 мкрад/год, у штаті Керала (Індія) до 130 мкрад/год. Природний радіаційний фон є одним з екологічних факторів для всіх живих систем планети.

Питання про роль природного радіаційного фону для рослинного і тваринного світу повністю не з'ясовано. Існує думка, живі системи планети протягом еволюції адаптувались до порівняно невисоких доз опромінення, навіть публікувались роботи, в яких робились спроби обґрунтувати позитивну дію радіації на життєдіяльність живих систем. Разом з тим з'являється все більше матеріалів, де вказується на те, що природний радіаційний фон є (або може бути) причиною спонтанної появи пухлин різної природи, ураження хромосом і появи шкідливих мутацій.

Радіація руйнує всі форми життя, за умови, коли вона досягає певної дози. Пряма дія радіації в кожній формі не супроводжується відчуттям болю. Від незначної дози радіації організм захищає імунна система. Дози радіації можна поділити на допорогові – це такі дози, від дії яких організм здатний захиститися; порогові і надпорогові, за умови дії яких організм уражає променева хвороба або він гине. Хоча не можна вважати, що малі дози радіації нешкідливі, оскільки і вони здатні впливати по-різному, зокрема на спадковість і мінливість організму.

Радіаційні норми доз поділяються на міжнародні, національні, регіональні.

Радіація використовується у промисловості, енергетиці, сільському господарстві (спрямований штучний мутагенез), медицині (діагностика, лікування), науці, військовій справі (за даними Стокгольмського міжнародного інституту проблем миру станом на січень 2009 року вісім країн нашої планети мали більше 23300 одиниць ядерної зброї), геології (пошуки корисних копалин), геохронології (при визначенні віку гір), астрономії (рентгенівська астрономія), рентгенодефектоскопії, рентгеноструктурному аналізі тощо.

Радіація – найбільш гостра проблема сучасності. Її не можна обмежити кордонами; її тяжко обмежити часом (до повного розпаду радіоактивних речовин потрібно від секунд до декількох мільйонів років, тому термін їх шкідливої дії може тривати десятки тисяч років); вона не

шанує рангів, оскільки вражає як королів, імператорів, генералів, так і пастухів, солдатів та інший простий люд. Радіація фізично і хімічно здатна знищити середовище органічного життя на нашій планеті.

Радіація є продуктом радіоактивності. Радіоактивність – процес самовільного перетворення ізотопів одного хімічного елемента на інший, який супроводжується випромінюванням елементарних частинок, або електромагнітних хвиль, що призводить до зміни атомного номера або зміни масового числа. Зміна атомного номера призводить до перебудови одного хімічного елемента на іншій; при зміні тільки масового числа відбувається перебудова ізотопів даного елемента.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення радіоекології та радіобіології як науки.
2. Перелічіть основні завдання радіоекології.
3. Визначить етапи розвитку радіоекології.
4. Назвіть зарубіжних і вітчизняних вчених, які зробили визначний внесок у розвиток радіоекології та радіобіології.
5. Дайте визначення радіації.
6. Коли і ким було введено поняття «радіація»?
7. В яких сферах використовується радіація?

РОЗДІЛ II

ОСНОВИ ФІЗИКИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

§ 2.1 Будова атома

Радіоактивність значною мірою обумовлюється фізичними, хімічними особливостями будови і властивостями атома. Тому доцільно звертати особливу увагу на будову і властивості атома.

Термін “атом” означає “неподільний”. Атом – елементарна, доцільна досконало збудована частинка елемента, що зберігає його хімічні властивості. У сучасному уявленні атом складається з ядра, що має позитивний електричний заряд, і хмари негативно заряджених електронів, що обертаються навкруги ядра. Кількість електронів в атомі рівна сумарному позитивному заряду ядра, тому атоми нейтральні. Електрони рухаються по орбітах, що характеризуються основними, орбітальними і магнітними квантовими числами. Заряд ядра характеризує атомний номер і визначає його місце в таблиці хімічних елементів Менделєєва. Сучасні уявлення про будову атома базуються на квантовій механіці.

Об'єднуючись між собою, атоми утворюють молекули.

Маса атома в основному зосереджена в ядрі. Ядро оточене електронами. Ядро атома за діаметром приблизно в 10000 разів менше, ніж діаметр атома. Кількість електронів дорівнює кількості протонів у ядрі. Кількість протонів у ядрі визначає кількість електронів на орбітах і порядковий номер елемента в таблиці Д.І. Менделєєва. Атоми елементів з різною кількістю нейтронів називаються ізотопами.

Всі атоми з певним номером в таблиці елементів мають однакові фізичні характеристики. Для позначення атомів використовують символи елементів, до яких належить атом, і вказують ліворуч вгорі масове число атома, а внизу порядковий номер у формі індексу.

Розміри атома надзвичайно малі: діаметр $\sim 10^{-8}$ см. Основна маса речовини атома концентрується в атомному ядрі, розміри якого в сотні тисяч разів менші розмірів самого атома. Щільність речовини в ядрі дуже велика – 10^{14} г/см³. Маса атома вимірюється в атомних одиницях маси, а енергія частинок – в електрон-вольтах. Електрон-вольт (eV) – енергія, яку отримує електрон при проходженні в електричному полі з різницею потенціалів в 1 вольт. Величина енергії, рівна тисячі eV, називається кілоелектровольтом (keV), а рівна мільйону eV – мегаелектровольтом (meV).

Електрони утримуються біля ядра силами електромагнітної взаємодії. Різноманіття атомів в природі досить обмежене, а різноманіття речовин величезне. Ще менше різноманіття часточок, з яких побудований атом – позитрони, нейтрони, електрони, гіперони, мезони. Це вказує на

дивовижну раціональність природи, первину єдність всякого різноманіття в ній.

Будова атому всіх елементів обумовлена проявом фундаментальних гравітаційних, електромагнітних та ядерних сильних і слабких взаємозв'язків, завдяки яким атоми з'єднуються один з одним і утворюють молекули. Без чіткого і точного прояву цих взаємозв'язків стали б не можливі хімічні реакції, атомні і ядерні перетворення, а також було б не можливим органічне життя у величезному різноманітті його форм прояву. Сильні взаємозв'язки забезпечують наявність стабільних елементів, слабкі взаємозв'язки роблять можливим радіоактивний розпад. Будова атомів і їх взаємодія свідчить про бережливість і дивовижну організованість, яку можна представити у вигляді періодичної системи елементів.

Згідно з співвідношенням Ейнштейна, кожному значенню маси m відповідає енергія – $E = mc^2$ (c – швидкість світла у вакуумі).

Чим вищий заряд ядра, тим більше електронів входить до складу атома і тим складніше влаштовані його електронні оболонки (орбіти, рівні, шари). В атомі з великою атомною масою кількість таких оболонок досягає семи. Їх позначають у порядку віддалення від ядра буквами латинського алфавіту: K, L, M, N, O, P, Q. Максимальна кількість електронів у кожному шарі строго визначена. Так, K-шар має не більше 2 електронів, L-шар до 8, M-шар – до 18, N-шар – до 32 і так далі.

Лише електрони зовнішнього шару можуть брати участь в утворенні міжатомних зв'язків. Атоми можуть втрачати або приєднувати електрони.

Чим далі електрони знаходяться від ядра, тим слабший зв'язок мають з ядром і тому легше вступають у різні хімічні реакції. Електрони, що містяться на зовнішній орбіті, визначають хімічні властивості атома, тобто його властивості вступати у сполуки з іншими атомами.

Атом за певних умов перебуває в стані основному (стабільному, спокою), збудження, іонізації, рекомбінації. Цікавою є проблема тривалості життя атома в стабільному стані, чи може він бути вічним.

Процес передавання енергії електромагнітного випромінювання здійснюється за трьома такими механізмами: фотоелектричного ефекту, не пружного співударяння (ефект Комптона) та народження пар. При наданні електронам зовні додаткової енергії, меншої, ніж енергія зв'язку електрона з ядром, вони будуть переходити з одного енергетичного рівня на інший. Такий атом залишається електрично нейтральним, але уже з надлишком енергії. Атоми, що мають надлишок енергії, називаються збудженими, а перехід електронів з одного енергетичного рівня на інший - процесом збудження.

Оскільки в природі кожна система намагається перейти до стану, за якого її енергія буде мінімальною, то атом зі збудженого стану переходить у початковий стан спокою. При цьому надлишкова енергія вивільнюється у

вигляді порцій енергії – квантів. Наприклад, перехід електронів зі зовнішніх оболонок на внутрішні супроводжується рентгенівським випромінюванням з довжиною хвилі, характерною для кожного атома (характеристичне рентгенівське випромінювання). Оскільки розміщення оболонок в атомах різних елементів не збігається, спектри рентгенівського випромінювання використовують для ідентифікації тієї чи іншої хімічної речовини.

Якщо дія на електрон буде сильнішою за енергію зв'язку його в атомі, то електрон залишає атом. Атом без одного чи кількох електронів називається позитивним іоном, а той, що приєднав до себе один або кілька електронів - негативним іоном. Електрон також є негативним іоном.

Іони поділяють на легкі, середні та важкі. Наприклад, легкі іони характерні для чистого повітря, середні іони накопичуються в закритих приміщеннях при відсутності вентиляції, а важкі утворюються там, де багато промислових підприємств із значними викидами. Іонізація повітря, значною мірою, відбувається і під впливом космічної радіації.

Процес утворення іонів із нейтральних атомів називається іонізацією. За одного акту іонізації утворюється пара іонів – позитивний і негативний.

Вільне місце на орбіті позитивного іона може заповнитися вільним електроном. Цей процес називається рекомбінацією іонів і супроводжується виділенням енергії, рівній тій, що була затрачена на іонізацію.

Ядро будь якого атома складається з елементарних частинок – протонів і нейтронів. Протони мають позитивний заряд, чисельно рівний і протилежний за знаком заряду електрона, і масу спокою. Нейтрони не мають електричного заряду, але мають теж масу спокою. Протони і нейтрони мають спільну назву – нукліди.

Нукліди, ядра яких мають однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів, називаються ізотопами. Ізотопи хімічно тотожні, але відрізняються масою і ядерними властивостями. Всі хімічні речовини мають ізотопи. Найменшу кількість відомих ізотопів (три – водень, дейтерій, тритій) має водень, а найбільшу (36) ксенон і цезій. Всього відомо близько 1300 ізотопів, з них 250 стабільні, інші радіоактивні. Ізотопи вуглецю і тритій утворюються під впливом космічної радіації.

Всередині ядра між нуклідами діють три види сили: ядерні, електромагнітні і гравітаційні. Гравітаційними силами у зв'язку з дуже малою масою взаємодіючих частинок можна знехтувати. Електромагнітна взаємодія відбувається за допомогою електромагнітного поля шляхом обміну частинками – фотонами (квантами), що не мають маси спокою і можуть

пересуватися на будь-які відстані. Ядерні сили діють на коротких відстанях порядку 10^{-13} см, але їх взаємодія виявляється дуже сильною.

Ядерна взаємодія відбувається шляхом обміну особливих частинок – η -мезонів. Ці частинки мають масу приблизно в 300 разів більшу за масу електронів.

Визначення мас окремих ядер показує, що вони завжди менші за суму мас протонів і нейтронів, що їх складають.. Різниця цих мас еквівалентна енергії, що утримує нуклони в ядрі у зв'язаному стані. Її називають енергією зв'язку. Різниця між сумою мас нейтронів і протонів та масою ядра, складеною з них, називається надлишком маси Δm .

При утворенні ядер шляхом об'єднання нуклонів (синтез) частина маси витрачається на енергію зв'язку і виділяється в кінцевому підсумку у вигляді тепла. Такі процеси синтезу ядер відбуваються на Сонці та інших зірках. Те ж саме спостерігається, якщо важке ядро поділиться на два ядра середньої ваги (розпад, поділ).

Стійкість ядер істотно залежить від відношення числа нейтронів до числа протонів. Для деяких ядер це відношення близько одиниці.

Ядро, як і атом, може перебувати лише в певних енергетичних станах. В основному стані енергія зв'язку нуклонів у ядрі максимальна. Отримавши певну порцію енергії, ядро переходить до одного із своїх збуджених станів. Якщо енергія збудженого ядра менша за енергію зв'язку нуклона в ядрі, то збуджене ядро повертається до основного стану, а надлишкова енергія випромінюється у вигляді гама-квантів. Якщо ж енергія збудження ядра більша за енергію зв'язку нуклона, то у цьому разі відбувається перетворення одного ядра в інше з випромінюванням однієї або кількох елементарних частинок – це процес радіоактивного перетворення.

Кожен елемент складається з певного виду атомів. Всі елементи в природі підлягають класифікації. Класифікація хімічних елементів базується на будові атомів. Лише деякі спроби систематизації в історії науки можуть порівнюватись з періодичною системою за широтою відображення чіткого порядку, що діє у фізичному світі. коли елементи розміщені рядами і колонками (групами), то чітко виражений взаємозв'язок між елементами однієї колонки (групи). Наприклад, в останній сьомій колонці (групі) знаходяться гази гелій, неон, аргон, криптон, ксенон і радон. Ці гази яскраво світяться при проходженні через них електричного розряду. Вони легко вступають у хімічні реакції з різними хімічними елементами. Всі елементи періодичної системи поділяються на метали, неметали та перехідні. В системі виділяють сімейства лантаноїдів та актиноїдів.

Творцями атомної теорії були Демокрит, Платон (запропонував поняття «матерія»), Лукрецій, Галілей (1564-1642), Джон Дальтон (XIX ст.), Н.Бор, Резерфорд. Давня індійська філософія матеріальний світ сприймала як ілюзію, що реальність – це процес, а не субстанція. Давньоримський вчений Лукрецій (96-55 рр. до н. е.) у своїй роботі «De

rerum natura» дотримується атомістичної теорії. У цій роботі Лукрецій пише, що вітер, який дує з великою силою, складається з частинок, яких ми не можемо бачити через малі їх розміри; запах, звуки, тепло поширюються частинками.

§2.2 Радіоактивний розпад

Іонізуюче випромінювання (радіоактивність) об'єднує різноманітні види випромінювання за своєю природою, але всі вони подібні тим, що несуть високу енергію, іонізуючу дію та вражають біологічні об'єкти.

Радіоактивність (радіо – випромінюю + активність – дію) – явище спонтанного перетворення атомного ядра ізотопу одного хімічного елементу в ядро ізотопу того ж або іншого елементу і супроводжується іонізуючим випромінюванням. Радіоактивність ядер ізотопів існує в природі – це природна радіоактивність. Її відкрив у 1896 році А. Беккерель. Радіоактивність ядер ізотопів, одержаних у результаті ядерних реакцій – це штучна радіоактивність. Її відкрили у 1934 році Ф. Жоліо-Кюрі та І. Жоліо-Кюрі.

Характерним прикладом радіоактивного перетворення є ланцюгова реакція перетворення урану 238 у стабільний нуклід свинцю 206:

Уран 238 – Торій 234 – Протактиній 234 – Уран 234 – Свинець 206.

На кожному етапі такого перетворення виділяється енергія.

Радіоактивність – це всякі іонізуючі випромінювання, взаємодія яких зі зовнішнім середовищем викликає іонізацію з утворенням електричних зарядів різних знаків. Радіоактивність є кількісною характеристикою іонізуючого випромінювання. Якісною характеристикою іонізуючого випромінювання є вид і енергія випромінювання, проникаюча здатність, період напіврозпаду.

Розрізняють корпускулярне і фотонне іонізуюче випромінювання. У першому випадку перетворенні атомів виділяються часточки – альфа, бета, нейтрони, протони тощо. Альфа-розпад властивий для радіоактивних елементів з великим порядковим номером (уран, радій, плутоній). Бета-розпад існує в двох різновидностях – елементарний і позитронний при фотонному (потік електромагнітних хвиль, що випускаються окремими порціями - квантами) випромінюванні утворюється квант енергії – рентгенівські або гама - випромінювання. Гама-промені поширюються зі швидкістю світла, вони не несуть електричного заряду, але здатні выбивати електрони з атомів любых хімічних елементів (фотоелектрична дія).

Іонізація та збудження атомів, що виникає при ній, є пусковим механізмом процесів, які призводять до променевого ураження біологічних структур – молекул, клітин, тканин, органів, систем органів, організму, угруповань організмів, екосистем, біосфери, вносячи в них якби біологічний безпорядок.

Процес спонтанного перетворення ядер ізотопів називається радіоактивним розпадом. Цей процес супроводжується випромінюванням ядрами інших ядер, альфа - , бета - корпускулярних частинок та гамма-променів (електромагнітні хвилі). Ці процеси обумовлені сильними взаємодіями різних форм розпаду.

Основний закон радіоактивного розпаду виражається формулою:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad (2.1)$$

де N_0 – кількість ядер в об'ємі речовини на початку моменту часу,
 N – кількість ядер на момент часу t ,
 λ - постійна розпаду, що має зміст вірогідності розпаду ядра за 1 секунду.

Радіоактивний розпад характеризується середнім часом життя радіоактивного ізотопу $\tau = 1/\lambda$ і періодом напіврозпаду, що виражається формулою:

$$T_{1/2} = \tau \ln 2. \quad (2.2)$$

Умовно до радіоактивного відносять розпад з $\tau > 10^{-12}$ секунди.

За міжнародною системою одиниць одиницею радіоактивності є беккерель (Бк) – це одиниця активності нукліда, рівна одному радіоактивному розпаду за секунду. Одиниця Бк пов'язана з позасистемною одиницею радіоактивності кюрі співвідношенням $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Радіація може бути безпосередньою, тобто прямою або непрямою. Пряма радіація – це заряджені частки з кінетичною енергією, достатньою для іонізації при зіткненні з атомами речовини. Пряма радіація - це потоки електронів, позитронів, важких заряджених часток (протони, дейтрони, ядра інших атомів, заряджених мезонів і гіперонів).

Непряма радіація складається з фотонів і незаряджених часток, утворених прямою радіацією. До непрямої радіації відноситься електромагнітне (фотонне) випромінювання, зокрема рентгенівське, гамма-промені, потоки нейтронів і незаряджених мезонів і гіперонів.

Активність іонізуючого випромінювання вимірюють в Беккерелях (Бк).

Джерелами радіації є природні і штучні радіоактивні речовини, космічний простір, ядерні реактори, рентгенівські трубки, різноманітні прискорювачі заряджених часток – бетатрони, циклотрони, лінійні прискорювачі, синхротрони, мікротрони. Природне радіоактивне випромінювання створюють понад 60 радіонуклідів, наявних у біосфері

Землі. Природній радіаційний фон на 30% представлений космічною радіацією і на 70% - земними джерелами.

Джерела радіації поділяють на закриті і відкриті. Закриті джерела іонізуючого випромінювання (ДІВ) – це ті, що виключають надходження радіоактивних речовин до зовнішнього середовища та їх інкорпорацію до організму. До них відносяться гама - випромінювачі, рентгенівські апарати, інші пристрої з використанням бета - і гама-випромінювання. Ці джерела можуть викликати тільки зовнішнє опромінення, тому розробляються заходи захисту з врахуванням цього. Закрите ДІВ – радіоактивна речовина знаходиться у твердій захисній оболонці з неактивного матеріалу чи інкапсульована у тверду неактивну захисну оболонку - досить міцну, щоб запобігти будь-якому розповсюдженню речовини за нормальних умов експлуатації та зносу протягом установленого терміну служби, а також в умовах непередбачених неполадок. Поняття "закрите джерело" містить як радіоактивну речовину, так і оболонку чи капсулу, за винятком таких випадків:

а) капсула й оболонка призначені тільки для збереження, транспортування і поховання РР;

б) радіоактивна речовина в ядерному реакторі або ядерний тепловиділяючий елемент (твел).

До них належать γ -випромінювачі різноманітного призначення, джерела α - і β - випромінювання та інші, що виготовлені у вигляді дисків, сплавів, стрижнів, сталевих ампул, а також рентгенівські апарати. Вони можуть викликати тільки зовнішнє опромінення, тому всі захисні заходи розробляються з урахуванням цієї обставини.

Закриті ДІВ за характером впливу можна поділити на дві групи:

1) джерела випромінювання безперервної дії;

2) джерела, що генерують випромінювання періодично.

До першої групи належать γ -установки різного призначення, нейтронні, β - і γ -випромінювачі. До другої - рентгенівські апарати і прискорювачі заряджених частинок енергій, що перевищують 10 Мев. Використання радіонуклідних джерел закритого типу і пристроїв, що генерують ІВ, дозволяється лише в умовах, передбачених Державними стандартами України (ДСТУ) і технічною документацією на джерела, погодженою з МОЗ

. Відкриті джерела іонізуючого випромінювання – це ті, що можуть потрапити до оточуючого середовища і бути інкорпорованими до організму рослин, тварин, людини. Це ізотопи, які використовуються у вигляді газів, аерозолів, рідин, розчинів, порошоків. Це високовольтні джерела постійного струму, поклади радіоактивних порід, теплові електростанції тобто все, що не підпадає від визначення “закриті ДІВ”. При цьому можливе не лише зовнішнє, але й додаткове внутрішнє опромінення персоналу.

До джерел надходження радіонуклідів у навколишнє середовище належать виробництва, що використовують зразки проб чи реактиви, котрі містять РР в концентраціях, що дають змогу віднести їх до твердих або рідких радіоактивних відходів (РАВ), а також лабораторії, які проводять радіологічний моніторинг навколишнього середовища.

Принципи захисту від відкритого зовнішнього опромінення можна вивести з таких основних закономірностей розподілу іонізуючого випромінювання і характеру їх взаємодії з речовиною:

- доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності та часу впливу випромінювання;

- інтенсивність випромінювання від джерела прямо пропорційна кількості квантів або частинок, що виникають у ньому за одиницю часу і обернено пропорційна квадрату відстані;

- проходячи через речовину, випромінювання поглинаються нею і їх пробіг залежить від густини цієї речовини.

При роботі з відкритими джерелами має передбачатися комплекс заходів безпеки, спрямованих на запобігання забруднення повітря робочої зони, поверхонь у виробничих приміщеннях і розташованого в них устаткування, шкірних покривів і спецодягу персоналу, а також об'єктів навколишнього середовища при експлуатаційному і ремонтному режимах роботи, при виведенні з експлуатації і при ліквідації наслідків радіаційної аварії.

Природній радіаційний фон – це фон, що створюється космічним випромінюванням, природними і штучними радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання (табл. 2.1).

Космічна радіація вічна, вона в умовах Землі є скрізь. Хоча на Північному і Південному полюсах планети її більше, ніж в екваторіальній зоні. Це значною мірою обумовлено наявністю магнітного поля планети, силові лінії якого виходять і входять на полюсах.

У різних регіонах планети Земля радіаційний фон різний. Він збільшується у регіонах, де є родовища уранових руд, радіоактивних сланців тощо.

В Україні до зон підвищеної радіоактивності належать Жовті води, Миронівка, Хмельник, Кіровоградська область тощо.

Чим вище над рівнем моря, тим інтенсивнішою є радіація, оскільки повітря значною мірою захищає Землю від космічної радіації. Наприклад, доза опромінення протягом року на рівні моря становить 0,3 мЗв, на висоті 4000 м над рівнем моря – 1,7 мЗв, а на висоті 12 км вона зростає у 25 разів. Тому опромінення при польотах залежить від висоти і тривалості польоту. Так, при польоті з Москви до Хабаровська екіпаж одержує опромінення 4—50 мЗв.

Космічне випромінювання за своїм походженням поділяють на первинне і вторинне. Первинне складається з частинок легких елементів –

водню, гелію, літію, берилію, бору та інших. Ці частинки енергії утворюються в надрах Галактики та Сонця. Вторинне космічне випромінювання - це енергія, утворена в результаті взаємодії первинних космічних часток з атмосферою Землі. Воно складається з електронів, протонів, мезонів, фотонів тощо.

У космічному випромінюванні на рівні поверхні моря виділяють м'які й жорсткі компоненти. М'які компоненти поглинаються шаром свинцю завтовшки 8... 10 см. Жорсткі компоненти проникають через шар свинцю завтовшки 1 м.

Біологічний ефект радіації може бути дуже значним при загальному несуттєвому рівні перенесення енергії. Так, летальної дози гама – чи рентгенівських променів для людини, якщо її перетворити на теплову енергію не вистачить навіть на те, щоб закип'ятити склянку води. У той же час тварини здатні переносити значно більші дози інфрачервоного опромінювання. Отже, іонізуюче опромінення обумовлює якісно інші зміни в організмі. Іони, що утворюються під дією радіації, мають велику хімічну активність і можуть породити ланцюг подій – мутації, променеві хвороби, смерть.

Таблиця 2.1 Природні джерела іонізуючої радіації

Найменування джерел	Середня річна доза	
	бер	Зв
Космос	30	0.30
Земля (грунт, вода, будівельні матеріали)	50-130	0.5-1.3
Радіоактивні елементи, які містяться у тканинах організму людини (К, С тощо)	30	0.30
Інші джерела	2	0.02
Середня сумарна річна доза	200	2.0

Як природні, так і штучні іонізуючі випромінювання можуть бути електромагнітними (фотонними або квантовими) і корпускулярними. Електромагнітне (фотонне) випромінювання – це гама - та рентгенівське випромінювання. Корпускулярне випромінювання – це альфа - , бета - випромінювання та потік частинок (нейтронів, протонів) (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 Штучні джерела іонізуючої радіації

Найменування джерел	Річна доза		Частка від природного фону, % (до 200 мбер)
	мбер	мЗв	
Медичні прилади (рентгенографія зуба 3 бер, рентгенографія легень 2-6 бер, флюорографія 370 мбер, рентгеноскопія)	100-150	1.0-1.5	50-75
Польоти в літаках (відстань 2000 км, висота – 12 км) – 5 разів протягом року	2.5-5.0	0.02-0.05	1.0-2.5
Комп'ютер	0.1	0.001	0.05
Телевізор (4 години протягом доби)	1.0	0.01	0.05
Теплові електростанції (на вугіллі), відстань 20 км	0,6-6,0	0,006-0,06	0.3-3.0
Випробування ядерної зброї	2.5	0.02	1.0

Вплив радіації на різні рівні організмів обумовлений її здатністю проникати в середину опромінюваного об'єкту і ефективно взаємодіяти з його структурами, оскільки, енергія квантів і частинок значно переважає енергію внутрішньо молекулярних зв'язків. За своїми властивостями корпускулярне випромінювання не несе значної небезпеки доти, поки радіоактивні ізотопи, що їх випромінюють, не проникають до організму з водою, повітрям, їжею. До організму вони потрапляють через системи органів травлення, дихання та через шкіру. Перетворившись в інкорпоровані джерела радіації вони стають надзвичайно небезпечними. Поведінка інкорпорованої радіації залежить від її хімічної природи і властивостей.

§2.3 Активність. Закон ядерного розпаду

Існує два види радіоактивності: природна і штучна.

Природна радіоактивність відбувається спонтанно без будь-якого зовнішнього впливу. Вона є результатом нестабільності деяких ядер. Нестійкі ізотопи перетворюються в ізотопи інших хімічних елементів.

Штучна радіоактивність є розпадом штучно отриманих ізотопів в результаті ядерних реакцій.

Активність – показник дезінтеграції радіоактивних елементів, або показник зменшення кількості радіоактивних ядер в процесі їх розпаду. Одиницею виміру є бекерель (Бк). Один 1Бк дорівнює одному розпаду в секунду. Іноді застосовують іншу одиницю виміру – кюрі (Кі). 1 Кюрі становить $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів за секунду.

Ядерний розпад є імовірнісним процесом. Неможливо точно передбачити, коли руйнуватиметься дане ядро. Але кількість ядер постійно зменшується. Зміна dN числа ядер від вихідного числа N_0 , що відбувається протягом короткого часу dt , пропорційно N_0 і λ :

$$dN / dt = -\lambda \cdot N_0. \quad (2.3)$$

Знак мінус вказує на те, що N_0 зменшується, і dN негативне. Константа λ залежить від типу ядер і називається константою радіоактивного розпаду. Рішенням рівняння є функція:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}. \quad (2.4)$$

Ця функція має на увазі, що якщо за час $t = 0$ є N_0 ядер. То через час t число ядер які залишилися буде N . Ця функція називається експозиційною формулою розпаду.

Зручно характеризувати ядерний розпад періодом напіврозпаду. Період напіврозпаду – це час, необхідний для розпаду половини вихідних ядер. Різні радіоактивні ядра мають період напіврозпаду в широкому діапазоні (наприклад, від 4.5 мільярдів років для урану до 10^4 с для одного з ізотопів радію).

§2.4 Характеристика іонізуючих випромінювань та взаємодія їх з речовиною

Іонізуючі випромінювання — це випромінювання (електор омагнітні, корпускулярні), які при взаємодії з речовиною чи опосередковано спричиняють іонізацію і порушення її атомів та молекул. Атом будь-якого

хімічного елемента складається з двох основних частин: позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, які обертаються навколо нього по різних орбітах. Ядро атома має складну структуру, воно складається з позитивно заряджених частинок — протонів, які мають однакову масу, і електрично нейтральних нейтронів. Різновиди одного елемента, що мають різну атомну масу (через різну кількість нейтронів), але однаковий заряд атомних ядер і ідентичні хімічні властивості, дістали назву ізотопів, або нуклідів.

Фізичні властивості іонізуючих випромінювань наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 Фізичні властивості іонізуючих випромінювань · 10³

Фізичні властивості	Вид випромінювання			
	Альфа	Бета	Гамма	Нейтрони
Енергія випромінювання, МеВ	1-10	0.1-2.0	0.1-20	0.05-10
Швидкість поширення у вакуумі, км/с	20000	(280 -280) · 10 ³	300000	1 · 10 ³ – 1 · 10 ⁶
Довжина пробігу в повітрі	До 20 см	До 15 см	Сотні метрів	Сотні метрів
Довжина пробігу в тканинах	До 50 мкм	До 1 см	Десятки сантиметрів	Сантиметри - метри
Іонізуюча здатність	(10-20) · 10 ³ пар/мм	5-10 пар/мм	1 пар/см	Сотні-десятки тисяч пар/мм

Іонізуюче випромінювання, проходячи крізь речовину, витрачає свою енергію на іонізацію та збудження зустрічних атомів і поглинається цією речовиною. Енергію, витрачену зарядженою частинкою або фотоном електромагнітного випромінювання на одиницю довжини їх пробігу в речовині, називають лінійною передачею енергії (ЛПЕ). В системі СІ її виражають в джоулях на метр. В радіобіології частіше використовують спеціальні одиниці, що використовуються для вимірювання енергії іонізуючих випромінювань – електрон-вольти (еВ). Один електрон-вольт

(1 eВ) відповідає енергії, яку отримує електрон в полі напруженістю 1 вольт. $1 \text{ eВ} = 1,60 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$. Тому ЛПЕ виражають в кілоелектронвольтах (кеВ, 10^3 eВ) на мікрометр шляху у воді (1 кеВ/мкм дорівнює 0,16 нДж/м).

Довжина пробігу залежить від енергії фотонного випромінювання, заряду, маси і швидкості частинок; ця залежність різко збільшується із зниженням швидкості і збільшенням маси частинки.

Гамма - (γ -) випромінювання – це потік фотонів (квантів) електромагнітного випромінювання з енергією вище 100 кеВ.

Енергія γ -квантів, що випускаються ядрами після α -розпаду, звичайно не перевищує 5 МеВ, після електронного розпаду – 2,0-2,5 МеВ. При анігіляції античастинок вона складає 0,511 МеВ. В середньому енергія γ -випромінювання різних радіоактивних елементів коливається в діапазоні 0,1-3 МеВ і рідко досягає 10 МеВ.

γ -кванти з енергією до 1 МеВ утворюють випромінювання, яке назвали м'яким, а з енергією більше 1 МеВ – жорстким випромінюванням. γ -кванти, за рідким винятком, утворюють лінійчатий спектр випромінювання, постійний для кожного елемента. Моноенергетичний спектр випромінювання мають тільки деякі γ -випромінюючі ізотопи тому звичайно вказують їх середню енергію (\bar{E}).

У зв'язку з тим, що ймовірність зустрічі γ -квантів з електронами атома мала, вони мають велику проникну здатність. В повітрі γ -кванти проходять шлях у декілька сотень метрів, в деревині – до 25 см, у свинці – до 5 см, в бетоні – до 10 см, у воді - десятки метрів, а живі організми вони пронизують наскрізь, являючи для них значну загрозу як джерело зовнішнього опромінення. ЛПЕ у воді γ -квантів з енергією 1,3 МеВ дорівнює 0,3 кеВ/мкм, а при енергії 0,25 МеВ вона становить 2 кеВ/мкм.

Рентгенівське випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що складається з гальмівного та характеристичного випромінювань, діапазон енергій яких коливається в межах 0,12-200,0 eВ, що відповідає довжинам хвиль 50-0,01 НП. У спектрі електромагнітних хвиль вони межують з ультрафіолетовими променями, довжина яких складає 50-2000 НП.

Гальмівне випромінювання – це фотонне випромінювання з безперервним спектром, що виникає при зменшенні кінетичної енергії заряджених частинок (електрони з енергією більше 15 eВ) внаслідок їх гальмування в полі ядра атома важких елементів. Основними джерелами рентгенівського випромінювання є рентгенівські апарати, що широко використовуються для проведення експериментів з рослинами та тваринами, а також у рентгенодіагностиці та радіаційній терапії. В рентгенівських апаратах є можливість регулювати енергію гальмівного випромінювання, яка залежить від напруги на аноді рентгенівської трубки, та інтенсивність випромінювання, що залежить від сили струму на катоді.

Джерелами гальмівного випромінювання можуть бути деякі радіоактивні ізотопи, β -частинки яких при гальмуванні їх в полі ядер атомів важких елементів перетворюються в імпульси гальмівного випромінювання, енергія яких дорівнює енергії β -частинок. Інтенсивність такого випромінювання значно нижча, ніж в рентгенівських апаратах.

Характеристичне випромінювання – це фотонне випромінювання з дискретним спектром, яке виникає при зміні енергетичного стану електронів атомів під впливом швидких електронів та β -частинок.

Поглинання енергії швидкого електрона електронними оболонками, наприклад атома вольфраму чи молібдену, з яких виготовлений анод рентгенівської трубки, призводить до вибивання одного з електронів його внутрішніх шарів за межі атома. При цьому відбувається іонізація атома. На місце електрона, вибитого з внутрішнього шару, негайно переходить електрон з більш віддалених від ядра шарів. Цей перехід супроводжується випромінюванням цілого ряду фотонів з різними значеннями енергії, характерними для кожного конкретного атома. Енергія цих фотонів може знаходитись у видимому спектрі, ультрафіолетовому та інфрачервоному спектрах в залежності від енергії частинок та порядкового номеру елемента. Тому даний вид випромінювання називається характеристичним.

Взаємодія γ -випромінювання з речовиною. γ -кванти при проходженні через речовину втрачають енергію за рахунок трьох ефектів: фотоелектричного поглинання (фотоэффект), комптонівського розсіювання (комптон-ефект) і утворення електрон-позитронних пар. Відносна величина кожного з цих ефектів залежить від атомного номера поглинаючого матеріалу та енергії фотона.

Ефект фотоелектричного поглинання відбувається при низьких енергіях γ -квантів, як правило до 10000 еВ.

При фотоэффекті γ -квант, вибиваючи електрон (частіше з К-шару), передає йому всю свою енергію і зникає, а електрон отримує енергію його енергію за мінусом енергії зв'язку електрона у атомі.

При більш високих енергіях γ -квантів (100-200 кеВ) спостерігається комптон-ефект, який ще має назву "комптонівське розсіювання". При цьому γ -кванти, вибиваючи електрони, передають їм лише якусь частину своєї енергії, після чого міняють напрямок руху, тобто розсіюються. Цей процес триває до того часу, доки γ -квант повністю не передасть свою енергію вибитому електрону і закінчується фотоэффектом.

γ -кванти з енергією від 1,022 МеВ до 20 МеВ в речовині під дією сильного електричного поля біля ядра перетворюються в пару "електрон-позитрон". В даному випадку електромагнітне випромінювання перетворюється в корпускулярні частинки. Після чого пара "електрон-позитрон" зникає (анігілює), перетворюючись в два вторинних γ -кванти з енергією, рівною енергетичному еквіваленту маси спокою часток 0,511 МеВ.

γ -випромінювання з енергією більше 20 MeV можуть взаємодіяти з ядрами атомів (ядерний ефект), але вірогідність цього дуже мала.

Взаємодія корпускулярних частинок з речовиною. Заряджені частинки, проходячи через речовину, поступово витрачають свою енергію на іонізацію, тобто відрив електрона від атома (іонізаційні витрати) та на збудження атомів і молекул (радіаційні втрати), які потім проявляються у вигляді гальмівного випромінювання.

Заряджені частинки різних видів але з однаковою енергією утворюють практично однакоvu кількість пар іонів (однакова повна іонізація).

Альфа (α) - випромінювання – це потік позитивно заряджених α -частинок або ядер атомів гелію. α -частинки складаються з двох протонів і двох нейтронів, мають подвійний позитивний заряд, атомну масу 4,003 а.о.м. ($6,664 \cdot 10^{-27}$ г), швидкість їх руху у вакуумі становить $9 \cdot 10^7$ км/с. Їх енергія коливається в діапазоні від 2 до 11 MeV. Енергетичний спектр α -частинок монохроматичний або близький до нього і є характерним для кожного α -випромінюючого елемента.

α -частинки випускають нестійкі ядра важких трансуранових елементів, які мають в періодичній системі Д.І. Менделєєва порядкові номери вище 82. Ядро при цьому втрачає два протони та два нейтрони і перетворюється в ядро іншого елемента, розміщеного на дві клітини ліворуч від материнського (α -розпад). Надлишкова енергія дочірнього ядра виділяється з γ -випромінюванням.

Пробіг α -частинки в речовині прямо пропорційний її енергії та обернено пропорційний густині речовини. Свою енергію α -частинки витрачають на іонізацію та збудження атомів середовища, утворюючи на 1 см шляху пробігу у повітрі 116000-254000 пар іонів. Щільність іонізації середовища різко збільшується наприкінці пробігу – виникає так званий пік Брегга. ЛПЕ α -частинок у воді складає до 260 кеВ/мкм. Довжина пробігу, який здійснюється α -частинкою до повної втрати енергії, досягає в повітрі 10 см, у воді та м'якій біологічній тканині – 0,10-0,15 мм. Втративши енергію α -частинка приєднує два електрони і перетворюється в атом гелію.

Бета (β) - випромінювання – це потік негативно заряджених електронів ядерного походження, які отримали назву β -частинки. β -частинки випускаються ядрами радіоактивних елементів при надлишку у їх ядрах нейтронів (електронний розпад). При цьому нейтрон перетворюється у протон з виділенням β -частинки і антинейтрино. При електронному розпаді утворюються дочірні продукти, що знаходяться в метастабільному стані і мають надлишок енергії, яка виділяється у вигляді γ -квантів. Розрізняють чисті β -випромінюючі радіоактивні елементи та змішані, при розпаді яких виділяються β -частинки та в 20-80% γ -кванти.

Маса β -частинки дорівнює масі електрона ($0,00548$ а.о.м. або $9,11 \cdot 10^{-31}$ кг).

10^{-28} г). Енергія β -частинок різних природних та штучних радіоактивних ізотопів має величезний діапазон: від 0,0015-0,05 МеВ (м'яке β -випромінювання) до 3, рідше 12 МеВ (жорстке β -випромінювання). При електронному розпаді з ядра разом з β -частинкою виділяється антинейтрино і енергія зв'язку ядра розподіляється між ними довільно. Тому величина енергії β -частинок одного й того ж елемента неоднакова, їх енергетичний спектр суцільний, або безперервний. Середня енергія β -частинок в спектрі дорівнює приблизно $1/3$ їх максимальної енергії і позначається (\bar{E}_β).

При взаємодії з середовищем β -частинка витрачає свою енергію на іонізацію та збудження зустрічних атомів (іонізаційні витрати енергії) та утворення гальмівного випромінювання (радіаційні витрати енергії), котрі збільшуються із збільшенням атомної маси опромінюваної речовини. Їх шлях в речовині звивистий, так як вони легко змінюють напрямок руху під впливом електричних полів зустрічних атомів.

Пробіг β -частинок досягає в повітрі 25 м, в біологічній тканині – 0,85 см. Вони утворюють 50-100 пар іонів на 1 см шляху в повітрі. ЛПЕ β -частинок у воді з середньою енергією 0,4 МеВ дорівнює 0,25 кеВ/мкм, наприкінці пробігу вона збільшується до 0,70 кеВ/мкм.

Довжина пробігу β -частинок (R_β) збільшується із збільшенням енергії.

β -частинки середніх енергій майже повністю поглинаються шаром алюмінію та оргсклом товщиною 5 мм. В зв'язку з розсіяним типом іонізації повного захисту при роботі з джерелами β -випромінювання не існує. При зовнішньому впливі великої кількості β -частинок можуть виникати β -опіки шкіри та листя рослин, пошкодження кришталика ока. Особливо небезпечними стають вони при надходженні всередину організму.

§2.5 Нейтронні випромінювання

Нейтрони є незарядженими частками і виробляють іонізацію побічно, взаємодіючи спочатку з атомними ядрами, а не з електронами. Вони мають широкий діапазон довжини пробігу в речовині. Нейтрони містяться в ядрах всіх атомів, крім водню. Вільні нейтрони отримують в ядерних реакціях. Вони вилітають з атомного ядра з різними швидкостями і енергією. Нейтрони сповільнюються при зіткненнях з ядрами атомів речовини, при цьому відбувається передача енергії. Збуджене ядро речовини випускає протон і γ -промені. Коли енергія нейтрона зменшується, він захоплюється атомним ядром.

У зв'язку з відсутністю у нейтронів електричного заряду вони проходять в речовині без взаємодій порівняно великі відстані, що

вимірюються сантиметрами. Ефективні перерізи взаємодії нейтронів з електронами атома малі ($\sigma \approx 10^{-22} \text{ см}^2$) порівняно з перерізом взаємодії зарядженої частинки з атомом ($\sigma \approx 10^{-16} \text{ см}^2$). Нейтрони стикаються головним чином з ядрами атомів, що входять до складу речовини. Явища, що відбуваються при взаємодії нейтронів з ядрами, залежать від кінетичної енергії нейтронів. Тому зазвичай нейтрони ділять на окремі енергетичні групи - теплові, повільні і швидкі нейтрони.

Швидкі нейтрони передають енергію головним чином у результаті прямих зіткнень з атомними ядрами. Енергія, передана від нейтрона ядру ($E_{\text{ядра}}$), залежить від маси ядра і кута розсіювання (рис. 2.1)

В середовищі з легких ядер нейтрони можуть передавати практично всю свою енергію в результаті зіткнення, якщо зіткнення лобове. Для швидких нейтронів найбільш важливим результатом взаємодії є пружні (n,n) і не пружні (n,n') зіткнення з атомними ядрами.

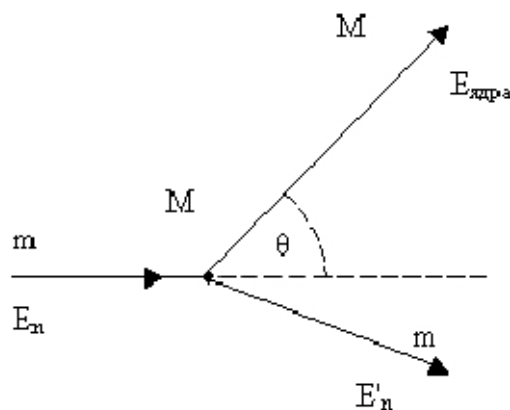


Рисунок 2.1 Енергія, передана від нейтрона ядру

Для повільних нейтронів спостерігаються максимуми в перерізі взаємодії при певних значеннях енергій нейтронів E_n , характерних для даної речовини. Основні процеси - розсіяння і уповільнення нейтронів до теплових швидкостей.

Енергії теплових нейтронів не перевищують енергії зв'язку атомів у водневомістких молекулах. Тому у випадку, якщо не відбувається ядерної реакції, теплові нейтрони можуть викликати лише збудження коливальних ступенів свободи, що призводить до розігрівання речовини.

Найбільш характерними реакціями при взаємодії теплових нейтронів з речовиною є реакції радіаційного захоплення (n,γ). При зменшенні енергії нейтронів перерізу пружного розсіяння (n,n) залишається приблизно постійним на рівні декількох барн, а переріз (n,γ) зростає за

законом $1/v$. Тому для дуже повільних нейтронів зростає не тільки абсолютна, але і відносна роль реакцій радіаційного захоплення.

§2.6 Виявлення і вимірювання випромінювань

Існує багато типів приладів, які використовуються для виявлення іонізуючих випромінювань. Найбільш часто застосовуються лічильники, які є дуже чутливими детекторами α -частинок, але менше – для γ -променів. Типовий лічильник являє собою циліндр з металу, стінки якого використовуються як анод. Тонкий дрiт уздовж осі циліндра служить катодом. Циліндр заповнений інертним газом аргонном.

Якщо аргон знаходиться в молекулярному стані, між анодом і катодом електричний струм не проходить. Під дією випромінювань відбувається іонізація атомів аргону і проходить короточасний електричний струм. Якщо напруга між анодом і катодом досить велика, кожен електрон, утворений дією на газ випромінювання, виробляє кілька другорядних електронів, які, в свою чергу, виробляють інші. В результаті електричні імпульси посилюються і можуть бути візуалізовані або записані. Такий детектор називається лічильником Гейгера – Мюллера (рис. 2.2). Він компактний і зручний у використанні.

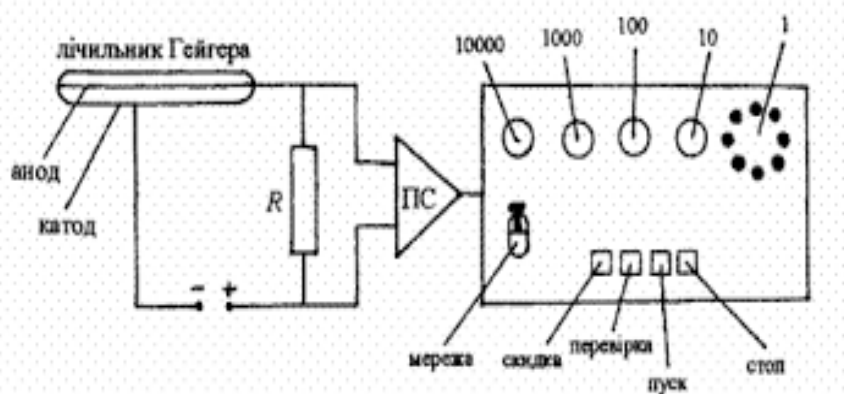


Рисунок. 2.2 Лічильник Гейгера – Мюллера

Є також інші види лічильників випромінювання, наприклад – сцинтиляційний лічильник (рис. 2.3). Такі лічильники мають порівняно високу ефективність виявлення випромінювання. Вони найбільш широко використовуються в рішенні біомедичних задач. Сцинтиляційний лічильник складається з кристала, який іскриться, тобто видає спалахи видимого світла, коли на його атоми потрапляє іонізуюче випромінювання.

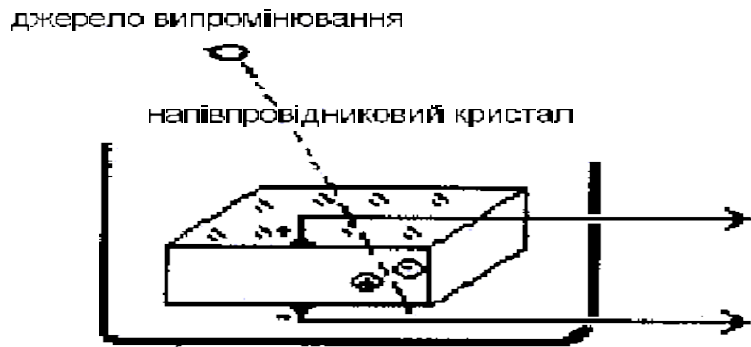


Рисунок 2.3 Сцинтиляційний лічильник

Спалахи світла зчитують за допомогою фотоелектричного множника чутливого пристрою. Фотони видимого світла, входячи в цей пристрій, викликають в ньому генерування електричних імпульсів, які піддаються дуже сильному підсиленню. Загальне число імпульсів пропорційне сумарному випромінюванню. Сцинтиляційні лічильники не тільки вимірюють інтенсивні випромінювання, але допомагають також ідентифікувати його природу.

Контрольні запитання

1. Охарактеризуйте будову атома.
2. Дати визначення радіоактивності.
3. Дати визначення прямої ті непрямой радіації.
4. Одиниця вимірювання активності іонізуючого випромінювання.
5. Дати визначення поняттю природний радіаційний фон.
6. Перелічити природні джерела іонізуючих випромінювань.
7. Перелічити штучні джерела іонізуючої радіації.
8. Дати визначення активності.
9. Що таке іонізуюче випромінювання?
10. Назвіть види іонізуючих випромінювань. Дайте характеристику кожному виду.
11. Дати визначення нейтронному випромінюванню.
12. Описати роботу лічильника Гейгера-Мюллера.

РОЗДІЛ ІІІ

ФІЗИЧНІ ПРИНЦИПИ ДОЗИМЕТРІЇ

§3.1 Поняття дозиметрії

Прикладна ядерна фізика, ядерні технології і промислове використання джерел іонізуючих випромінювання знаходить все більш широке застосування в різних областях науки і техніки. Дозиметрія іонізуючих випромінювань є самостійним розділом прикладної ядерної фізики. Основна задача дозиметрії – визначення дози іонізуючого випромінювання, яка є мірою поглинальної енергії в різних середовищах, в повітрі і, головне, м'якій біологічній тканині. Інакше, основне завдання дозиметрії зводиться до забезпечення радіаційної безпеки при проведенні робіт в умовах іонізуючих випромінювань.

Розвиток дозиметрії спочатку цілком визначалося необхідністю захисту людини від шкідливого впливу іонізуючих випромінювань. Незабаром після відкриття рентгенівського випромінювання (1895) було виявлено його шкідлива дія на людину виникла необхідність у кількісній оцінці ступеня радіаційної небезпеки. Для вимірювання інтенсивності рентгенівського випромінювання почали використовувати фотографічний ефект, флюоресценцію, тепловий ефект, а також хімічні методи. В подальшому вимірювання фізичних величин, що характеризують рентгенівське випромінювання та його взаємодію з середовищем, що виділялися в самостійну область - рентгенометрію, що є тепер складовою частиною дозиметрії іонізуючих випромінювань. У рентгенометрії визначилися основні величини, що підлягають вимірюванню, і сформувалися майже всі методи сучасної дозиметрії.

У 1942 р. був пущений перший ядерний реактор; з цього часу почалися посилені роботи в галузі ядерної техніки, організувалося широке виробництво радіоактивних нуклідів. Питання радіаційної безпеки стали набувати величезне значення, зачіпаючи інтереси як працівників атомної промисловості, так і широких верств населення. Поступово дозиметрія стає потрібною не тільки фізикам і медикам, але і біологам, хімікам, працівникам промисловості та сільського господарства, пов'язаним із використанням іонізуючих випромінювань.

Коло завдань, розв'язуваних дозиметрією, безперервно розширюється. Якщо первісним завданням її було в основному забезпечення радіаційної безпеки, то зараз все більшого значення набуває дозиметрія в радіаційно-фізичних, радіаційно-хімічних та радіобіологічних дослідженнях; нові вимоги до дозиметрії пред'являє радіаційна технологія. Без грамотного, науково обґрунтованого дозиметричного забезпечення

неможливе ефективне застосування іонізуючих випромінювань радіонуклідів у медицині, сільському господарстві та ін.

Важливий аспект додатків дозиметрії - охорона навколишнього природного середовища, невід'ємним компонентом якої є радіаційне поле і розсіяні радіонукліди природного і розсіяного походження. Дозиметричний контроль навколишнього середовища і пов'язані з ним прогнози радіаційної обстановки вимагає створення оптимізованих дозиметричних систем, розвитку нових методів дозиметрії, вирішення питань, пов'язаних з визначенням необхідного обсягу і точності дозиметричної інформації.

Дозиметрія іонізуючих випромінювань - прикладна наука, однак її застосування настільки різноманітні та нестандартні, що потрібні постійні пошуки нових методів і засобів дозиметрії, засновані на глибокому розумінні фізики випромінювань і явищ, пов'язані з взаємодією випромінювання з речовиною. Все це робить дозиметрію захоплюючою областю знань та застосування наукового методу дослідження.

§3.2 Основні дози випромінювання

Основною одиницею в радіобіології і радіоекології є доза опромінення - міра енергії іонізуючого випромінювання, яка передана речовині, або міра біологічних ефектів іонізуючого випромінювання в тілі людини, його органах і тканинах.

Опромінення – це вплив на людину, чи будь-який об'єкт іонізуючого випромінювання.

Зовнішнє опромінення – опромінення тіла людини чи будь-якого живого об'єкту джерелами іонізуючих випромінювань, які знаходяться поза ним.

Внутрішнє опромінення – опромінення тіла людини чи будь-якого живого об'єкту, окремих органів та тканин від джерел іонізуючих випромінювань, що знаходяться в самому об'єкті.

В радіаційному захисті, радіоекології та радіобіології розрізняють п'ять основних видів доз іонізуючих випромінювань: експозиційну, поглинену, еквівалентну, ефективну і колективну.

Експозиційна доза фотонного випромінювання (D_{exp}) є відношенням сумарного заряду усіх іонів одного знаку (dQ), утворених у повітрі, коли всі електрони й позитрони, вивільнені фотонами в елементарному об'ємі повітря масою dm , повністю зупинилися в повітрі, до маси повітря в зазначеному об'ємі.

$$D_{\text{exp}} = dQ / dm . \quad (3.1)$$

У системі СІ за одиницю експозиційної дози прийнято кулон на кілограм (Кл/Кг; С/Кг). Позасистемною одиницею експозиційної дози є рентген (Р; R): $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$.

Рентген – це така кількість іонізуючого випромінювання, яка утворює в 1 м^3 сухого повітря при нормальних умовах близько 2 млрд. пар іонів. Похідними від рентгена є 1 міллірентген (мР) = $1 \cdot 10^{-3} \text{ Р}$ та 1 мікрорентген (мкР) = $1 \cdot 10^{-6} \text{ Р}$. Співвідношення між Кл/кг та рентгеном: $1 \text{ Кл/кг} = 3876 \text{ Р}$.

Потужність експозиційної дози фотонного випромінювання (потужність експозиційної дози) (P_{exp}) – відношення приросту експозиційної дози (dP_{exp}) за інтервал часу dt до цього інтервалу часу:

$$P_{\text{exp}} = dD_{\text{exp}} / dt . \quad (3.2)$$

Експозиційна доза розраховується за формулою:

$$D_{\text{exp}} = \int_0^t P_{\text{exp}} dt , \quad (3.3)$$

або

$$D_{\text{exp}} = P_{\text{exp}} t \quad \text{при} \quad P_{\text{exp}}(t) = \text{Const} ,$$

де t – час опромінення.

В системі СІ за одиницю потужності експозиційної дози прийнято ампер на кілограм (А/кг). Позасистемною одиницею потужності експозиційної дози є рентген за секунду (Р/с): $1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$; $1 \text{ Р/год} = 1000 \text{ мР/год} = 106 \text{ мкР/год}$.

Потужність експозиційної дози фотонного випромінювання (Р) від точкового джерела даного радіонукліду пропорційна його активності А (мКі) і обернено пропорційна квадрату відстані від нього r (см):

$$P \approx A\Gamma / r^2 , \quad (3.4)$$

де Γ – повна гама-стала.

Беручи до уваги відсутність цілочислового співвідношення між Дж/кг і Р, а також поступову відмову від практичного використання експозиційної дози на користь поглиненої дози, визнано доцільним для експозиційної дози (D_{exp}) та потужності експозиційної дози (Р) зберегти лише позасистемні одиниці й не користуватися одиницями системи СІ.

У радіобіології, клінічній радіології та радіаційному захисті поглинена доза (D) є базовою фізичною величиною, яка використовується для всіх видів іонізуючого випромінювання і будь-яких геометрії випромінювання.

Поглинена доза визначається як відношення середньої енергії (dE), що передана іонізуючим випромінюванням речовині в елементарному об'ємі, до маси dm речовини в цьому об'ємі. Поглинена доза випромінювання дорівнює енергії, поглинутій одиницею маси речовини. Всі інші величини, пов'язані з поглиненою дозою випромінювання (дозові поля та ін.) є мірою впливу на об'єкт, що опромінюється.

$$D = dE / dm \quad (3.5)$$

У системі СІ за одиницю поглиненої дози прийнято Грей (Гр; Gy); розмірність поглиненої дози – джоуль на кілограм; 1Грей=1Дж/кг. Похідними величинами є 1 мГр = $1 \cdot 10^{-3}$ Гр і 1 мкГр = $1 \cdot 10^{-6}$ Гр.

Позасистемною одиницею поглиненої дози є *рад*. Співвідношення між Греєм та радом є таким: 1 Гр = 100 рад; 1 рад = 0,01 Гр = 1 сГр (сантигрей).

Існують певні співвідношення між одиницями наведених доз для гамма-випромінювання. Так, 1 рад приблизно дорівнює 1 Р (точніше 1.04 Р). Експозиційна доза 1Р у повітрі відповідає поглиненій дозі 0.87 рад.

Потужність поглиненої дози іонізуючого випромінювання (потужність дози випромінювання) P_{abs} – це відношення приросту поглиненої дози (dD) за інтервал часу (dt) до цього інтервалу часу:

$$P_{abs} = dD / dt \quad (3.6)$$

В системі СІ за одиницю потужності поглиненої дози прийнято Гр/с. Позасистемною одиницею є рад/с, 1 Гр/с = 100 рад/с.

При необхідності переходу від потужності експозиційної дози фотонного випромінювання у повітрі (P_{abs}) до потужності поглиненої дози в повітрі (повітряної керма, P_{exp}) слід використовувати такі співвідношення:

$$P_{abs} \text{ (нГр/год)} = 8,73 P_{exp} \text{ (мкР/год)} \quad (3.7)$$

Середня в органі або тканині поглинена доза (доза в органі, D_T) дорівнює відношенню сумарної енергії (E_T), що виділилася в органі чи тканині (T) до маси органа чи тканини (m_T):

$$D_T = E_T / m_T . \quad (3.8)$$

Керма (від англ. "kerma" – kinetic energy released into material) – відношення суми первинних кінетичних енергій (dW_k) всіх заряджених частинок, утворених під впливом непрямого іонізуючого випромінювання в елементарному об'ємі речовини, до маси (dm) речовини в цьому об'ємі (dW_k / dm). Одиниця вимірювання керми є Грей.

Еквівалентна доза в органі або тканині (H_T) – це величина, яка визначається як добуток поглиненої дози (D_T) в окремому органі або тканині (T) та радіаційного фактору (W_R):

$$H_T = D_T W_R . \quad (3.9)$$

Одиницею еквівалентної дози у системі СІ є зіверт (Зв; Sv). Зіверт - це енергія будь-якого виду іонізуючого випромінювання, поглиненого 1 кг біологічної тканини, при якій біологічний ефект тотожний поглиненій дозі 1 Гр контрольного рентгенівського або гамма-випромінювання.

При опроміненні живих об'єктів, у тому числі людини, одна і та ж поглинена доза викликає різний біологічний ефект залежно від виду випромінювання. Тому прийнято порівнювати біологічні ефекти від різних видів випромінювання з ефектами, викликаними рентгенівським або слабо енергетичним гамма-випромінюванням.

Радіаційний зважуючий фактор (коефіцієнт якості) w_R - коефіцієнт, що враховує відносну біологічну ефективність різних видів іонізуючого випромінювання. Використовується винятково при розрахунку ефективної та еквівалентної доз. В рекомендаціях МКРЗ радіаційний зважуючий фактор для нейтронів у залежності від їх енергії замінений із ступінчастої на неперервну функцію.

Для врахування нерівномірного впливу іонізуючого випромінювання на організм розрізняють ефективну дозу.

Ефективна доза (E) - сума добутків еквівалентних доз H_T в окремих органах і тканинах на відповідні тканинні зважуючі фактори W_T :

$$E = \sum H_T W_T . \quad (3.10)$$

Використання поняття ефективної дози допускається при значеннях еквівалентних доз нижчих за поріг виникнення детерміністичних ефектів (0.1 Зв при гострому опроміненні чи хронічному протягом року). Одиниця ефективної дози в системі СІ – зіверт (Зв, Sv). Позасистемна одиниця – бер.

Ефективна доза в радіаційній безпеці визначає ступінь впливу іонізуючого випромінювання на тіло людини з врахуванням відмінностей дії різних видів іонізуючого випромінювання на тканини та органи. Ефективна доза дозволяє вирівняти ризик опромінення безвідносно до того, опромінюється все тіло рівномірно чи ні. Це досягається за допомогою коефіцієнтів відношення шкоди від опромінення окремого органа або тканини до шкоди при рівномірному опроміненні всього тіла однаковими еквівалентними дозами. Ефективна доза зовнішнього опромінення тіла людини та ефективна доза внутрішнього опромінення за рахунок радіонуклідів у тілі людини, таким чином, можуть додаватися.

Тканинний зважуючий фактор – коефіцієнт, який відображає відносну імовірність стохастичних ефектів в тканині (органі). Сума всіх зважуючих факторів по всіх органах дорівнює одиниці: $\sum W_T = 1$. Використовується винятково при розрахунку ефективної дози.

За необхідності переходу від потужності експозиційної дози гамма-випромінювання радіонуклідів природного походження в повітрі (P_{abs} , мкР/год) до потужності ефективної дози (dE/dt , нЗв/год) слід користуватися наступним співвідношенням:

$$dE/dt = 6,46 P_{exp} . \quad (3.11)$$

Поглинена доза може розподілятися в біологічних об'єктах рівномірно і нерівномірно. Відомо, що кожний орган і кожна тканина мають різне значення в життєзабезпеченні всього організму. Критичний орган – це орган або тканина, частина тіла або все тіло, опромінення яких завдає найбільшої шкоди організму. Аналогічно критичні (життєво важливі) елементи можуть бути виділені й у кожній окремій клітині, а не тільки в цілому організмі.

Практично існують три способи виділення критичних органів:

- за найбільшою радіочутливістю у певній системі організму;
- за найбільшою поглиненою дозою випромінювання;
- за вибіркоким накопиченням підвищених концентрацій певного радіонукліда і, таким чином, отриманням найвищих ефективних еквівалентних доз випромінювання (для іншого радіонукліда критичним може бути зовсім інший орган).

Кожний із цих способів прийнятний для різних ситуацій. Перший спосіб є зручним у разі загального рівномірного зовнішнього опромінення, другий – при нерівномірному опроміненні, третій – при поглинанні радіонуклідів у різних тканинах і органах. Відомо, що такий радіонуклід, як I^{131} , вибірково накопичується в щитоподібній залозі хребетних, і тому дозу оцінюють із розрахунку на цей орган. Sr^{90} зосереджується в поверхневих шарах кісток, і дозу потрібно перераховувати на цю тканину тощо.

У випадках опромінення великих популяцій людей, особливо при аваріях, доцільно виділяти критичні групи населення. Критична група – це сукупність осіб серед певного контингенту людей, які за умовами проживання, віком або станом здоров'я зазнають найбільшого ризику опромінення.

Для оцінки ризику опромінення однієї людини або певної групи людей введено поняття індивідуальної та колективної еквівалентної дози, відповідно.

Слід завжди пам'ятати, що ефективна доза розраховується для «умовної людини» (усередненої по статі з характеристиками, визначеними МКРЗ у контексті радіаційного захисту, з анатомічними та фізіологічними характеристиками), а не для конкретного індивіда. Основна область застосування ефективної дози – це проведення перспективних оцінок при плануванні й оптимізації радіаційного захисту, а також для підтвердження дотримання граничних доз при проведенні регулювання. Не рекомендується використовувати ефективну дозу ні для проведення епідеміологічних оцінок, ні для проведення детальних ретроспективних досліджень індивідуального опромінення та ризику.

Колективна ефективна (еквівалентна) доза – це сума індивідуальних ефективних (еквівалентних) доз опромінення певної групи населення за певний період часу, або сума добутків середньо-групових ефективних доз на число осіб у відповідних групах, що утворюють колектив, для якого вона розраховується:

$$S = \sum E_i N_i, \quad (3.12)$$

де E_i - середня ефективна (еквівалентна) доза на підгрупу населення;

N_i - число осіб в підгрупі.

Одиниця вимірювання – людино-зіверт (люд.-Зв). Позасистемна одиниця – людино-бер. 1 люд.-Зв = 100 люд.-бер. Величина колективної ефективної дози є інструментом для оптимізації контрзаходів і для порівняння різних радіаційних технологій і процедур захисту, переважно в

контексті професійного опромінення. Колективна ефективна доза не є інструментом для епідеміологічних оцінок ризику, а також для прогнозування ризику. Підсумовування дуже низьких індивідуальних доз за дуже тривалий проміжок часу є неприпустимим. Зокрема, слід утримуватися від розрахунків числа випадків смерті від раку на основі колективних ефективних доз, отриманих шляхом простого додавання індивідуальних доз.

З метою оцінки ризику виникнення небажаних біологічних ефектів залежно від часу, протягом якого була одержана доза, введена очікувана, або напіввікова, еквівалентна доза внутрішнього опромінення (E_{50}). Вона є сумою еквівалентних доз, які людина одержує за певний період. При E_{50} період часу прийнято за 50 років для дорослих – середня тривалість періоду професійної діяльності людини, і 70 років для дітей (E_{70}). Одиниця очікуваної еквівалентної дози – Зіверт.

Співвідношення між одиницями величин дози іонізуючого випромінювання наведені в табл. 2.1.

Еквівалентна та ефективна доза в тканинах тіла та організмі людини не можуть бути виміряні безпосередньо. В зв'язку з цим, система захисту включає в себе поняття операційних величин, які можуть бути виміряні та виходячи з яких, можна оцінити еквівалентну та ефективну дози.

Таблиця 3.1. Співвідношення між одиницями величин дози іонізуючого випромінювання

Величина, її позначення	Одиниця, позначення		Співвідношення між одиницями
	СІ	Позасистемна	
Активність радіонуклідів, А	Беккерель (Бк)	Кюрі (Кр)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Експозиційна доза фотонного випромінювання, D_{exp}	Кулон на кілограм, (Кл/кг)	Рентген (Р)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$
Потужність експозиційної дози фотонного випромінювань, P_{exp}	Ампер на кілограм, (А/кг)	Рентген (Р)	$1 \text{ Р/с} = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ А/кг}$
Поглинена доза випромінювання, D	Грей, (Гр)	Рад (рад)	$1 \text{ рад} = 0,01 \text{ Гр}$

Потужність поглиненої дози випромінювання, P_{abs}	Грей за секунду (Гр/с)	Рад за секунду (Рад/с)	1 рад/с = 0,01 Гр/с
Керма, К	Грей (Гр)	Рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр
Еквівалентна (ефективна) доза випромінювання, $H_T (E)$	Зіверт, (Зв)	Бер (бер)	1 бер = 0,01 зв
Потужність еквівалентної дози випромінювання, $H_T (E)$	Зіверт за секунду, (Зв/с)	Бер за секунду, (Бер/с)	1 Бер/с = 0,01Зв/с
Колективна ефективна (еквівалентна) доза, D	Людино-Зіверт, (люд.-Зв)	Людино-бер, (люд.-бер)	1 люд. – бер. = 0,01люд.-Зв

§3.3 Ліміти дози та допустимі рівні

Числові значення лімітів доз встановлюються на рівнях, що виключають можливість виникнення не стохастичних ефектів опромінення і

одночасно гарантують настільки низьку імовірність виникнення стохастичних ефектів опромінення, що вона є прийнятною як для окремих осіб, так і для суспільства в цілому.

Ліміт дози - основний радіаційно-гігієнічний норматив, метою якого є обмеження опромінення осіб категорій А, Б і В від усіх індустриальних джерел іонізуючого випромінювання у ситуаціях практичної діяльності (Табл. 2.2).

Таблиця 3.2 Ліміти річної ефективної та еквівалентної дози опромінення осіб, мЗв · год

Ліміт доз	Категорія осіб		
	А	Б	В
Ліміт ефективної дози	20	2	1
Ліміти еквівалентної дози зовнішнього опромінення для:			
кришталіка ока	150	15	15
шкіри	500	50	50
кистей та стоп	500	50	-

Оцінка допустимих рівнів зовнішнього і внутрішнього опромінення на організм людини проводиться не тільки за рівнем опромінення всього організму, але і за станом критичних органів, які в умовах нерівномірного опромінення організму призводять до найсуттєвішої шкоди здоров'ю людини або її нащадків. У порядку зменшення радіочутливості виділяють три групи критичних органів:

1 – усе тіло, червоний кістковий мозок;

2 – м'язи, щитоподібна залоза, легені, печінка, селезінка, шлунково-кишковий тракт, кришталік ока та інші;

3 – кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, ступні.

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

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

Референтний вік – це інтервал часу між моментом надходження радіонуклідів та віком 70 років (умовно прийнята середня тривалість життя людини).

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

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

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

Для осіб категорії А:

- допустиме надходження (ДН) радіонукліда через органи дихання;
- допустима концентрація (ДК) радіонукліда в повітрі робочої зони;
- допустима щільність потоку частинок (ДЩП);
- допустима потужність дози зовнішнього опромінення (ДПД);
- допустиме радіоактивне забруднення (ДЗ) шкіри, спецодягу та робочих поверхонь.

Для осіб категорії Б:

- допустиме надходження (ДН) радіонукліда через органи дихання;
- допустима концентрація (ДК) радіонукліда в повітрі робочої зони.

Для осіб категорії В:

- допустиме надходження радіонукліда через органи дихання (ДНд) і травлення (ДНт);
- допустима концентрація радіонукліда в повітрі (ДКп) та питній воді (ДКв);
- допустимий скид і викид у довкілля радіонукліда.

Числові значення допустимих рівнів (ДН, ДК) для головних продуктів ядерного поділу наведено у таблицях 2.3 (категорія А) та 2.4 (категорія В). Для осіб категорії Б величини ДР та ДЗ у 10 разів нижчі відповідних ДР і ДЗ для осіб категорії А.

Таблиця 3.3 Допустимі рівні надходження основних радіонуклідів через органи дихання (ДН) та допустимі концентрації у повітрі робочих приміщень (ДК) для осіб категорії А

Радіонуклід	Період піврозпаду	ДН, Бк/год	ДК, Бк/м ³
Rb ⁸⁶ (рубідій)	18.66 доби	6 *10 ⁴	3*10 ³
Sr ⁹⁰ (стронцій)	29.12 року	3*10 ⁴	1*10 ¹
Zr ⁹⁵ (цирконій)	63.98 доби	7*10 ⁵	3*10 ²
Ru ¹⁰⁶ (рутений)	368.2 доби	7*10 ⁴	3*10 ¹
I ¹³¹ (йод)	8.04 доби	4*10 ⁵	2*10 ²
Cs ¹³⁴ (цезій)	2.06 року	2*10 ⁵	1*10 ²
Cs ¹³⁷ (цезій)	30 років	1*10 ⁵	6*10 ¹
Ba ¹⁴⁰ (барій)	12.74 доби	8* 10 ⁵	4*10 ²
Ce ¹⁴⁴ (церій)	284.3 доби	9*10 ⁴	4*10 ¹
Pu ²³⁹ (плутоній)	24065 років	6*10 ¹	3*10 ⁻²
Am ²⁴¹ (америцій)	432.2 роки	7*10 ¹	3*10 ⁻²

Таблиця 3.4 Допустимі рівні надходження основних радіонуклідів через органи дихання (ДНд), органи травлення (ДНт), допустимі концентрації в повітрі (ДКп) та питній воді (ДКв) для осіб категорії В

Радіонуклід	Період піврозпаду	ДНд, Бк/год	ДНт, Бк/год	ДКп, Бк/ м ³	ДКв, Бк/ м ³
Rb ⁸⁶	18.66 доби	4*10 ⁴	3*10 ⁴	3*10 ¹	1*10 ⁵
Sr ⁹⁰	29.12 року	6*10 ²	4*10 ³	2*10 ¹	1*10 ⁴
Zr ⁹⁵	63.98 доби	6*10 ³	1*10 ⁵	4	5*10 ⁵
Ru ¹⁰⁶	368.2 доби	9*10 ²	1*10 ⁴	5*10 ¹	5*10 ⁴
I ¹³¹	8.04 доби	8*10 ³	6*10 ³	4	2*10 ⁴
Cs ¹³⁴	2.06 року	3*10 ³	4*10 ⁴	1	7*10 ⁴
Cs ¹³⁷	30 років	2*10 ³	5*10 ⁴	8*10 ¹	1*10 ⁵
Ba ¹⁴⁰	12.74 доби	7*10 ³	3*10 ⁴	5	1*10 ⁵
Ce ¹⁴⁴	284.3 доби	1*10 ³	2*10 ⁴	6*10 ¹	7*10 ⁴
Pu ²³⁹	24065 років	2	2*10 ²	4*10 ⁻⁴	1*10 ³
Am ²⁴¹	432.2 роки	2	3*10 ²	4*10 ⁻⁴	1*10 ³

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

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

Для осіб, в яких річна ефективна доза опромінення може перевищити 10 мЗв на рік, вводиться обов'язковий індивідуальний дозиметричний контроль.

У разі небезпечних ситуацій (недопущення розвитку радіаційної аварії або при проведенні деяких технологічних операцій на радіаційно-ядерному об'єкті та ін.) для осіб категорії А дозовий ліміт підвищується до 50 мЗв за 1 календарний рік.

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

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

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

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

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

§3.4 Сучасні прилади дозиметрії

Залежно від призначення виділяють два класи приладів, що використовуються для вимірювання радіоактивності в навколишньому середовищі. Це дозиметри — прилади, призначені для вимірювання експозиційної дози або потужності дози рентгенівського, γ -випромінювання, поглиненої дози або потужності поглиненої дози іонізуючих випромінювань. Радіометри - прилади, призначені для визначення питомої активності об'єктів радіометричного контролю.

У будові цих приладів особливої різниці немає. Усі вони повинні мати детектор випромінювань тієї чи іншої системи (рис. 3.1). Як правило, іонізація атомів викликає невелике збудження системи. Тому акт іонізації потрібно підсилити і зареєструвати. І, безперечно, усі ці блоки приладу повинні бути забезпечені енергією (блок живлення).

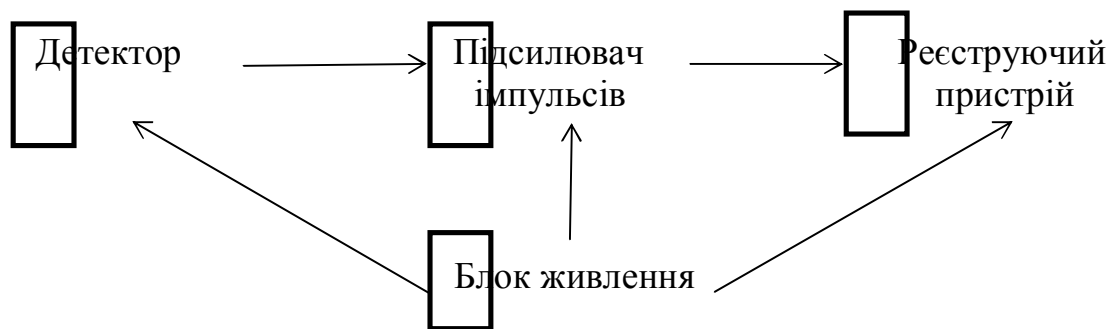


Рисунок 3.1. Принципова блок-схема дозиметра і радіометра

Дозиметри визначають поглинену дозу в одиницях Грей (рад), потужність поглиненої дози — у Гр/с (рад/с), експозиційну дозу — у Кл/кг (Р) і потужність експозиційної дози — у Кл/кг⁻³ (Р/с).

Дозиметри використовують також для визначення інтенсивності випромінювання в одиницях Вт/м² (МеВ/см²). Радіометри визначають питому об'ємну, поверхневу або масову активність відповідно в Бк/м³ (Кі/л), Бк/м³ (Кі/см², Бк/кг (Кі/кг).

Переносні радіометри в основному використовують для визначення питомої активності поверхні ґрунту, будов, матеріалів і т.п. Стационарні радіометри використовують для визначення питомої масової або об'ємної активності ґрунту, рослинності, кормів, продуктів харчування, води.

Залежно від призначення дозиметри ділять на три групи:

- Кишенькові прилади для іонізуючого дозиметричного контролю;
- Переносні прилади групового дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю;
- Стационарні прилади для дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю.

§3.5 Кишенькові прилади для індивідуального дозиметричного контролю

Дозиметр кишеньковий прямопоказуючий ДК-0,2 (рис. 2.2 б і г) призначений для контролю за експозиційною дозою жорсткого рентгенівського та - випромінювання з енергією 0,2-2,0 МеВ в діапазоні 0,01- 0,20 Р. Потужність експозиційної дози не повинна перевищувати 6 Р/год. В комплект приладу входять десять вимірювальних камер ДК-0,2 і зарядний пристрій ЗД-6 (рис.3.2 а), призначений для зарядки дозиметрів. Само розрядка дозиметра не перевищує 10% значення шкали за добу. Похибка виміру $7\pm 10\%$.

Вимірювальна камера складається з трьох частин: інтегруючої іонізаційної камери з повітряно-еквівалентними стінками, електроскопу та мікроскопу. Конденсатор, утворений внутрішніми стінками камери і центральним електродом, заряджується до визначеного потенціалу. При дії випромінювання повітря в робочому об'ємі дозиметра іонізується, і потенціал камери зменшується пропорційно дозі опромінення.



Рисунок 3.2 Загальний вигляд приладів індивідуального дозиметричного контролю: а – зарядний пристрій ЗД-6; б – комплект індивідуальних дозиметрів ДК-02; в – дозиметр КІД-1; г – дозиметр ДК-02; д - дозиметр ДКП-50; е – дозиметр ІД-1.

Його вимірюють за допомогою вмонтованого в дозиметр мініатюрного електроскопу. Відхилення рухомої системи електроскопу (платинована кварцова нитка діаметром 5 мкм) визначається по шкалі мікроскопа, що відградує в мілірентгенах.

Конструктивно дозиметр виконано у вигляді авторучки з утримувачем для закріплення на одязі. Циліндричний корпус із дюралюмінію виконує функцію зовнішнього електрода іонізаційної камери. Об'єм камери - $1,8 \text{ см}^3$. Зарядний пристрій має корпус та зарядне гніздо для дозиметра, потенціометр для встановлення необхідної напруги на конденсаторі у діапазоні 180-250 В.

Принцип роботи зарядного пристрою ЗД-6 базується на п'єзоелектричному ефекті. Під впливом тиску дозиметра на п'єзоелементи перетворювача механічної енергії в електричну відбувається деформація та утворення на їх протилежних сторонах різниці потенціалів. Позитивний заряд подається на стержень зарядного пристрою, негативний - на корпус. Для зменшення вихідної напруги зарядного пристрою використовується розрядник.

Зарядний пристрій ЗД-6 призначений також для зарядки інших прямопоказуючих дозиметрів: ДКП-50, ІД-1, ІД-0,2. Індивідуальний дозиметр ДКП-50 (рис. 3.2 д), що входять до комплекту ДП-22-В і ДП-24, - це кишенькова конденсаторна камера, призначена для вимірювання індивідуальних доз фотонного випромінювання в аварійних умовах в діапазоні 2-50 Р при потужності дози 0,5-200 Р/год (енергія фотонів становить 0,2-2,0 МеВ. Саморозряд дозиметра не вище 4 Р за добу. Похибка виміру $7 \pm 15\%$. Комплектація, конструкція і принцип дії цих приладів аналогічні дозиметру ДК-0,2.

Комплект індивідуального дозиметричного контролю КІД-2 призначений для індивідуального дозиметричного контролю при роботі з рентгенівським і - випромінюванням з енергією 0,02-2,0 МеВ в діапазоні 0,005- 1,0 Р. Цей діапазон вимірювань розбито на два під діапазони: 0,005-0,05 Р при потужності експозиційної дози, яка не перевищує 6 Р за годину і 0,05-1,0 Р при потужності експозиційної дози до 120 Р за годину. Саморозряд конденсаторних камер дозиметра не перевищує 0,002 Р за добу. Похибка вимірювання в діапазоні енергій 150 кеВ - 2,0 МеВ становить $7 \pm 10\%$, в діапазоні енергій 10-150 кеВ - $7 \pm 60\%$.

В комплект даного приладу входять зарядно-вимірювальний пристрій і дозиметри. Дозиметр складається з двох іонізаційних камер, розрахованих на максимальні експозиційні дози 0,05-1 Р. Кожна камера - це електрична ємність, утворена центральним електродом і корпусом. Зарядно - вимірювальний пристрій служить для зарядки конденсаторних камер та визначення дози. Живлення зарядно-вимірювального пристрою здійснюється від мережі змінного струму.

Комплект індивідуального дозиметричного контролю КІД-1 (рис.3.2 в), призначений для вимірювання експозиційних доз жорсткого рентгенівського та - випромінювання в діапазонах 0,02-0,2 Р і 0,2-2,0 Р. Він являє собою модифікацію комплекту КІД-2. Конструктивно зарядно-вимірювальний пульт приладу КІД-1 виконаний у вигляді настільного приладу з похилою передньою панеллю та з'ємною кришкою. На панелі знаходяться: вимірювальний прилад з регулятором установки нуля шкали, гнізда "Заряд" і "Вимір", регулятор установки зарядної напруги, тумблер вмикання та дві сигнальні лампи, що вказують робочі під діапазони 0,2 і 2,0 Р. Принцип дії дозиметра КІД-1 та порядок роботи з ним аналогічний дозиметру КІД-2.

Загальним недоліком іонізаційних конденсаторних камер дозиметрів ДК-0,2, ДКП-5А, КІД-1, КІД-2 та їх аналогів є саморозряд. Тому дозиметри використовують протягом одного робочого дня. Саморозряд дозиметра контролюють по контрольному дозиметру, який знаходиться протягом робочого дня у свинцевому контейнері.

Індивідуальний дозиметр типу ДКС-04 "Стриж" використовується для виявлення, оцінки та вимірювання за допомогою звукової та світлової сигналізації щільності потоку теплових нейтронів, рентгенівського та жорсткого - випромінювань. Дозиметр подає звуковий та світловий сигнали при наявності потоку теплових нейтронів, жорсткого - випромінювання з енергією більше 0,5 МеВ, а також рентгенівського та - випромінювання. Цей прилад вимірює потужність експозиційної дози і експозиційну дозу рентгенівського та - випромінювань в діапазоні енергій фотонів 0,05-3,0 МеВ. Діапазон потужності експозиційної дози - 0,1- 999,9 МП/год ($7,16 \cdot 10^{-12}$ - $7,16 \cdot 10^{-8}$ А/кг); діапазон вимірювань експозиційної дози 1- 4096 МП ($2,58 \cdot 10^{-7}$ - $1,03 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг).

Детектором - випромінювання є малогабаритний газорозрядний лічильник типу СБМ-21 з додатковим циліндричним кадмієвим фільтром. Використання кадмію збільшує чутливість детектора на теплові нейтрони у чотири рази внаслідок реєстрації захоплюючого нейтронного випромінювання.

В результаті впливу іонізуючого випромінювання на виході детектору виникають імпульси, котрі за допомогою електричної схеми перетворюються у звукову та світлову сигналізацію, а також цифрову інформацію про значення експозиційної дози та її потужності. Сигналізація працює в режимах "Межа" експозиційної дози та "Пошук". В другому режимі сигналізація спрацьовує від кожного імпульсу, зареєстрованого лічильником. В першому режимі сигналізація включається при перевищенні значень дози 1 МП ($2,6 \cdot 10^{-7}$ Кл/кг). Живлення дозиметра здійснюється від мережі змінного струму та акумуляторів типу Д-01.

Конструктивно дозиметр виконано у вигляді портативного кишенькового приладу. Корпус зроблено із міцного протиударного полістиролу у вигляді прямокутної коробки, що складається з двох з'єднаних між собою половинок.

Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА» (рис. 3.3) дає можливість вимірювання еквівалентної дози (ЕД) і потужності еквівалентної (ПЕД) дози, часу накопичення еквівалентної дози, а також поверхневої щільності потоку β -частинок. Діапазони вимірювання потужності еквівалентної дози γ - і рентгенівського випромінювань (Cs^{137}) 0,1-9999 мкЗв/год., відносна погрішність вимірювання $\pm 15\%$.



Рисунок 3.3 Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА»

Дозиметр-радіометр має п'ять незалежних вимірювальних каналів з виведенням на рідкокристалічний дисплей, вбудований лічильник Гейгера-Мюллера. Конструктивні особливості дозволяють оцінювати гамма-фон за 10 с, а при вимірюванні β -забрудненості здійснювати автоматичне віднімання гамма-фону. Прилад може працювати в автоматичному режимі зі звуковою сигналізацією перевищення запрограмованого порогового рівня. Прилад комплектується двома гальванічними елементами, має індикатор розряду джерела живлення.

Дозиметр γ -випромінювання індивідуальний з пошуковою функцією ДКС-02П «Кадмій пошуковий» (рис. 3.4) призначений для вимірювання потужності еквівалентної дози γ - і рентгенівського випромінювання. Дозиметр використовується для контролю несанкціонованого переміщення радіоактивних матеріалів, пошуку джерел радіоактивного випромінювання.



Рисунок 3.4 Дозиметр "Кадмій пошуковий"

Дозиметр обладнаний детектором γ -випромінювання типу "СЕЛДИ" (CsI- сцинтилятор - фотодіод), має два режими сигналізації – сигналізація перевищення порогових рівнів та кожного зареєстрованого γ -кванта, автоматичним вибором інтервалів діапазонів вимірювання. Живиться дозиметр від двох нікель-кадмієвих акумуляторів.

Індивідуальний дозиметр ДКС-АТ3509 (рис. 3.5) і його модифікації ДКС- АТ3509А, ДКС-АТ3509В, ДКС-АТ3509С призначені для вимірювання індивідуальної еквівалентної дози і потужності дози короточасного й безперервного рентгенівського й γ -випромінювання.



Рисунок 3.5 Індивідуальний дозиметр ДКС-АТ3509

Прилад забезпечує вимірювання у діапазоні 7,5 порядків по потужності дози, має роздільну звукову й світлодіодну сигналізацію. Управління режимами роботи, обробка інформації, висновок на ЖКІ з підсвічуванням, самоконтроль виконуються мікропроцесором. Енергонезалежна пам'ять забезпечує зберігання накопиченої дози й історії нагромадження дози при відключеному живленні. Дозиметр може

використовуватися автономно або в складі системи дозиметричного контролю: дозиметр - пристрій зчитування (ВУС) - ПЕВМ. Програмне забезпечення, що поставляється з ВУС, дозволяє здійснювати зміну порогів по дозі й потужності дози, заборону/дозвіл вибору порогів по дозі й потужності дози від кнопки на передній панелі дозиметра, зміну інтервалу накопичення доз від 1 до 255 хв. і можливість визначення накопичених доз за будь-який інтервал часу протягом робочої зміни, автоматичний запис у пам'ять до 800 значень доз, подання доз у вигляді графіків, формування звітів, автоматичний запис інформації в базу даних, документування.

Дозиметр γ -випромінювання ДКГ-08А "Скаут" призначений для виміру амбієнтного еквівалента дози (МАЕД) і амбієнтного еквівалента дози (АЕД) γ -випромінювання при радіаційному контролі на підприємствах; моніторингу радіаційної обстановки; пошуку джерел іонізуючого випромінювання; пішохідній γ -зйомці місцевості; індивідуальної дозиметрії.

Вимірювання дози, накопиченої за увесь час роботи приладу, проведення вимірів (облік радіаційного ресурсу) одночасно дозволяє вести облік малих збільшень дози (наприклад, за робочу зміну), оскільки представляється довгим багатозначним числом, що дозволяє впевнено розрізнити десятки частки мкЗв.

Універсальний дозиметр гамма-випромінювання ДКГ-01Д "Гарант" (рис. 3.6) застосовується як для інспекційного, так і для безперервного радіаційного контролю об'єктів, установок.



Рисунок 3.6 Дозиметр ДКГ-01Д "Гарант" із зарядним пристроєм.

Дозиметр використовується при радіаційному контролі на підприємствах, моніторингу радіаційної обстановки, пошуку джерел іонізуючого випромінювання, пішохідній гамма-зйомці місцевості. Дозиметр являє собою переносний прилад оперативного контролю з пам'яттю на 1000 результатів або стаціонарний прилад контролю динаміки зміни радіаційного тла із записом результатів ("чорний ящик").

Індивідуальний дозиметр ДКГ-05Д (рис. 3.7) призначений для вимірювання поточного індивідуального еквівалента дози $H_p(10)$ і вимірювань потужності індивідуального еквівалента дози $H_p(10)$. Застосовується в індивідуальній дозиметрії. Програмне забезпечення дозволяє встановлювати систему постійного дозиметричного контролю й моніторингу опромінення персоналу на підприємстві.



Рисунок 3.7 Індивідуальний дозиметр ДКГ-05Д

§3.6 Переносні прилади групового дозиметричного і радіаційно - технологічного контролю

Загальний контроль потужності дози зовнішнього - та рентгенівського випромінювань здійснюється за допомогою рентгенометрів. Вони призначені для оцінки радіаційного стану, перевірки надійності засобів захисту від фотонного випромінювання і зберігання високоактивних β - випромінюючих ізотопів, які при взаємодії з матеріалами захисних контейнерів, утворюють гальмівне випромінювання.

Рентгенометри різних типів складаються з лічильника ядерних випромінювань, для чого використовують іонізаційну камеру, газорозрядний або сцинтиляційний лічильник посилювача і аналізатора імпульсів струму.

Вихідними пристроями є стрілочні прилади (мікроамперметри), декатрони, рідкі кристали, що видають цифрову індикацію та ін. Нерідко рентгенометри можуть бути обладнані звуковою сигналізацією, що спрацьовує при заданому порозі. Шкала цих приладів відградується в одиницях потужності експозиційної дози - Р/год, мР/год, мкР/год, або в одиницях еквівалентної дози фотонного випромінювання - мЗв/год, мкЗв/год.

Деякі рентгенометри, наприклад СРП-68-01, СРП-88, можуть працювати і в імпульсному режимі, тобто реєструвати окремі імпульси струму, що виникають при взаємодії γ - кванту з детектором. Такі прилади називають рентгенометрами-радіометрами. Вони оснащені перемикачем виду робіт і мають подвійне позначення шкали (мкР/год та s^{-1}). Якщо

прилади даного типу оснащені змінними блоками детектування, то вони стають універсальними, тобто призначеними для рішення багатоцільових задач, включаючи вимірювання потужності дози фотонного випромінювання, визначення ступеню забруднення поверхні β - та (або) α -активними ізотопами, вимірювання густини потоку швидких і теплових нейтронів (прилади МКС-04, УІМ-2-1еМ, МКС-01-Р та ін.).

Геологорозвідувальний рентгенометр СРП 68-01 (рис. 3.8) є одним з найбільш чутливих з переносних дозиметрів. Він призначений для вимірювання потужності експозиційної дози γ -випромінювання в діапазоні 0- 3000 мкР/год. У ньому використаний сцинтиляційний детектор з кристалом NaI (Т1) і ФЕМ.



Рисунок 3.8 Рентгенометр СРП-68-01

Прилад дозволяє проводити вимірювання потоку γ -квантів в межах від 0 до 10000 с^{-1} і потужності експозиційної дози - випромінювання в межах від 0 до 3000 мкР/год.

Діапазон вимірювань поділено на під діапазони: для вимірювання потоку γ - квантів (с^{-1}) на 100, 300, 1000, 3000, 10000; для вимірювання потужності експозиційної дози (мкР/год) на 30, 100, 300, 1000, 3000.

Переносний радіометр КРБ-1 (рис. 3.9) призначений для вимірювання сумарної β -активності (бета-забруднення) поверхонь у діапазоні від 10 до розп/(хв. \cdot см²) при рівні гамма-фону від 10^{-4} до 1 рад/год. Як детектори в ньому використані газорозрядні лічильники СИ-8Б и СИ-19БГ.



Рисунок 3.9 Радіометр КРБ-1

Чутливий лічильник СИ-8Б включається при вимірюванні β -випромінювання в діапазоні $10-10^4$ розп/(хв·см²), а СИ-19БГ — у діапазоні від 10^4 до 10^7 розп/(хв·см²). При наявності γ -випромінювання лічильники реєструють сумарний ефект від β - і γ -випромінювання поверхні й γ -випромінювання фону.

Для компенсації внеску фонового γ -випромінювання використовують сталевий екран товщиною 2 мм, що повністю екранує β -випромінювання й майже не змінює гамма-фон.

Показання стрілки приладу визначається різницею швидкостей лічби без екрана й з ним, що дає величину швидкості лічби, обумовлену тільки β -випромінюванням з поверхні.

Радіометр радону "РРА-01М-01" (рис. 3.10) призначений для експресного вимірювання об'ємної активності радону у повітрі, воді й підґрунтовому повітрі, а також щільності потоку радону із ґрунту. Застосовується для комплексного санітарно - гігієнічного обстеження територій і використовується для роботи в лабораторних і польових умовах.

Радіометр вимірює об'ємну активність радону в діапазоні 20–20000 Бк/м³ з погрішністю не вище 30% в діапазоні 20–100 Бк/м³ та не вище 20% в діапазоні 100–20000 Бк/м³.



Рисунок 3.10 Радіометр радону "РРА-01М-01".

§3.7 Методи дозиметрії

Основними методами виявлення іонізуючих випромінювань є: 1) іонізаційний, 2) сцинтиляційний, 3) люмінесцентний, 4) фотографічний, 5) хімічний, 6) калориметричний і 7) біологічний.

Суть іонізаційного методу полягає в тому, що під дією іонізуючих випромінювань відбувається іонізація опромінюваних об'єктів – повітря, води, твердих речовин, біологічних тканин тощо з утворенням позитивно і негативно заряджених іонів. Іони в лічильнику, що знаходиться під напругою, отримують направлений рух, утворюючи іонізаційний струм. Вимірюючи силу струму, можна отримати уяву про кількість (дозу) випромінювань, а вимірюючи імпульси струму, можна визначити інтенсивність випромінювання.

Детекторами для виявлення і вимірювання іонізації зазвичай служать іонізаційні камери, пропорційні лічильники, лічильники Гейгера-Мюллера і напівпровідникові лічильники.

Можливості використання цього типу детекторів визначаються їх робочими характеристиками та метою досліджень.

За принципом іонізаційного методу працюють прилади дозиметричного контролю: дозиметри (ДК-02, ДКП-50-А, ИД-1, КИД-1-6, ДКС-04, ДКГ-08А "Скаут", ДКГ-01Д "Гарант", ДКГ-05Д, ДКС-АТ3509, ДКС-АТ3509А, ДКС-АТ3509В, ДКС-АТ3509С тощо); рентгенометри (ДП-5А,Б,В), ДКС-0,5, ДРГ-01-Т, "Белла", "Прип'ять" тощо); радіометри ("Тисс", ДП-100, КРБ-1, КРА-1, "Бета", КРК-1, УМФ-1500 тощо).

Сцинтиляційний метод оснований на реєстрації фотонів видимого світла, що виникають при збудженні атомів деяких речовин – сцинтиляторів під дією випромінювання. Для виготовлення даного типу детекторів найчастіше використовуються кристали хімічно чистого NaI, активованого талієм.

Процес виявлення іонізуючого випромінювання відбувається в такій послідовності: γ -квант вибиває з кристала фотон, який потрапляє на фотокатод фотоелектричного помножувач (ФЕП) і, в свою чергу, вибиває з нього фотоелектрон. Фотоелектрон потрапляє на пластину - динод ФЕП і вибиває з неї до 10 електронів. Цей процес повторюється стільки разів, скільки пластин (динодів) має ФЕП. Так, при шести динодах ФЕП на виході отримують близько 1 млн. електронів (наприклад, ФЕП приладу СРП-68-01 має 14 динодів).

За цим принципом працюють: рентгенометри (СРП-68-01, СРП-88); радіометри (РКБ4-1еМ, РЖС-05); гамма-спектрометри (АМ-А-02-Ф1,2,3, АИ-1024-9505, АИ-4096, МУЛЬТИРАД- гамма, СКС-99 "СПУТНИК", СЕБ-01-70, СЕГ-001 «АКП-С»-63, СЕГ-001м «АКП-С»-63, СЕБ-01-150 та інші); автоматичні гамма - і бета-лічильники ("Гамма-12", "Бета-2" тощо).

Люмінесцентні методи виявлення іонізуючого випромінювання оснований на ефектах радіофотолюмінесценції і термолюмінесценції. При радіофотолюмінесценції під дією іонізуючих випромінювань в люмінофорах – фосфатних скельцях (NaI, ZnS, активованих сріблом) утворюються центри фотолюмінесценції. Під час дії на них ультрафіолетових променів виникає видима люмінесценція, інтенсивність якої спочатку пропорційна дозі 10^{-2} – 10^{-1} Гр, при дозі $3,5$ – 10^{-2} Гр досягає максимуму і при подальшому збільшенні дози – падає. Під дією ультрафіолетових променів центри люмінесценції руйнуються, що дає можливість проводити вимірювання дози багаторазово.

При радіотермолюмінесценції поглинута енергія випромінювання перетворюється в люмінесценцію лише під дією температури, а її інтенсивність пропорційна дозі випромінювання. Тому дозиметри даного типу можуть слугувати накопичувачами дози. Для запобігання втрати дози необхідно підібрати фосфатні скельця, які висвітлять її при температурі близько 400°C .

За цим принципом працюють дозиметри ДПГ-02, ДПГ-03, ИКСА, DTU тощо.

Фотографічний метод оснований на вимірюванні ступеня потемніння фотоемульсії під впливом іонізуючих випромінювань. Якщо опромінити фотоплівку в світлонепроникній касеті, то після її проявлення можна виявити помітне почорніння. Його ступінь в деякому діапазоні доз пропорційна експозиційній дозі. Опромінені плівки типу РМ-5-1, РМ-5-3 і РМ-5-4 дозволяють реєструвати γ -випромінювання в діапазоні експозиційних доз 0,02-2,0 Р, 0,3-12 Р, 0,01-50,0 Р відповідно.

Перевагами фотографічного методу є можливість його масового використання для індивідуального контролю, документальна реєстрація отриманої дози та неприйнятність до ударів і різких змін температури.

Недоліки даного методу – низька чутливість до малих доз, неможливість спостереження за ходом накопичення дози безпосередньо в процесі опромінення, залежність результатів вимірювань від умов проявлення плівки.

Складність використання даного методу полягає в тому, що для визначення отриманої дози необхідно мати еталон, виготовлений з такого ж матеріалу як в дозиметрі, опроміненого відомою дозою і проявленого в аналогічних умовах. Це значить, що потрібне джерело іонізуючого випромінювання, яке може створювати контрольовану дозу.

За цим принципом працюють дозиметри ИФК-2,4, ИФКУ тощо.

Хімічний метод оснований на тому, що під дією іонізуючих випромінювань деякі речовини можуть перетворюватись на інші. Наприклад, при опроміненні хлороформу утворюється соляна кислота. Якщо взяти хлороформ, додати до нього індикатор соляної кислоти, то при наявності іонізуючих випромінювань його забарвлення починає

змінюватись. Тому на корпус такого дозиметра можна наклеїти візуальну шкалу зміни забарвлення в залежності від дози опромінення. Це дає нам можливість спостерігати за ходом її накопичення в процесі опромінення. Визначення точного значення дози проводиться на приладах типу фотоелектрокалориметрів (ФЕК), відградуєваних в одиницях дози іонізуючого випромінювання, що її спричинили.

В теперішній час зазвичай користуються так званими “сухими” (“сліпими”) феросульфатними дозиметрами, для яких використовують насичений повітрям розчин FeSO_4 в розбавленій H_2SO_4 в діапазоні вимірювання дози 20-400 Гр. Для більш високих доз (10^3 - 10^5 Гр) використовують церієвий дозиметр (0,1 М розчин $\text{Ce}_2(\text{SO}_4)$ в 0,4 М H_2SO_4). Але продовжують використовувати й хімічні дозиметри на основі хлороформу і чотирьох-хлористого вуглецю, не зважаючи на те, що при оцінці відносно малих доз вони дають більшу похибку.

Чутливість хімічних методів дозиметрії значно нижча, ніж іонізаційних, сцинтиляційних, люмінесцентних і фотографічних. Крім того, для реєстрації показників необхідні значні затрати часу.

Калориметричний метод оснований на тому, що під дією іонізуючих випромінювань в опромінюваних об'єктах підвищується температура. Наприклад, при опроміненні біологічного об'єкта дозою 1000 Р, температура його тіла підвищується не менш як на 0.001°C . Цей метод використовується для вимірювання надзвичайно високих потужностей дози. Без нього було б неможливо слідкувати за ситуацією, що відбувається в ядерному реакторі.

Таким чином, кожний з перерахованих методів займає певне незамінне місце у виявленні іонізуючих випромінювань.

Біологічний метод дещо відрізняється від вищезгаданих, так як в його основі лежать біологічні зміни в клітинах, тканинах, органах живих організмів, що зумовлені дією іонізуючих випромінювань. Найбільш розповсюдженим є метод визначення кількості клітин з абераціями хромосом у лімфоцитах периферичної крові людини.

Аберації хромосом – це їх поломки, які можуть у невеликих кількостях (до 1-1,5%) виникати при звичайних поділах клітин, і які можуть виникати при дії деяких фізичних і хімічних чинників у кількостях, що у багато разів перевищують норму. Одним з таких чинників є іонізуюча радіація. І кількість аберацій, що виникають при її дії, чітко прямо пропорційна дозі опромінення.

Для визначення кількості клітин з абераціями хромосом у людини, яка була піддана дії іонізуючої радіації, звичайним методом відбирають кров з пальця чи іншого органу. На препараті під мікроскопом чітко видні лімфоцити – великі клітини, що діляться, а в мітозі і окремі хромосоми. У певній фазі мітозу (звичайно метафази чи анафази), коли всі хромосоми відокремлені одна від одної, підраховують, кількість ушкоджених

хромосом, визначаючи відсоток клітин з абераціями. Зрештою, на задалегідь приготовлених в лабораторних умовах калібровочних кривих визначають, якій кількості аберантних клітин відповідає певна доза опромінення.

У зв'язку з тим, що калібровочна крива будується на основі усереднених даних, а кожна людина має індивідуальну радіочутливість, метод може давати певну похибку в оцінці дози. Проте у більшості випадків ця похибка не перевищує 20-30%. І вона буде тим менше, чим меншим буде час між опроміненням і аналізом крові.

Визначення кількості аберацій можливе і в інших клітинах організму – кістковому мозку, епітеліальних клітинах – в усіх, котрі діляться і тому мають високу радіочутливість. Проте коротко описаний тут є найбільш зручним.

За допомогою цього методу можна визначати і дозу опромінення тварин і навіть рослин. В останніх хромосомному аналізу піддаються клітини меристем – твірних тканин, клітини котрих діляться.

До біологічного методу дозиметрії належить і метод визначення кількості вільних радикалів в зубній емалі ссавці в, в тому числі і людини, та інших хребетних, хітинових покривах комах, черепашках молюсків. Цей метод отримав назву «ретроспективного», так як він дозволяє визначити дозу, яка була отримала індивідумом протягом періоду індивідуального розвитку - життя. І якщо в житті був інцидент, пов'язаний з одержанням великої дози, як, наприклад, при випробуваннях атомної зброї, аваріях на підприємствах ядерної енергетики, метод дозволяє виявити цей випадок. Саме за допомогою його у теперішній час оцінюють чи «переоцінюють», уточнюють дози, одержані військовими під час випробувань атомних бомб, ліквідаторами ядерних аварій і просто жителями забруднених радіонуклідами територій.

§ 3.8 Методи визначення радіоактивності

Для визначення радіоактивності використовують три основні методи радіометрії:

- 1) абсолютний;
- 2) розрахунковий;
- 3) відносний.

Абсолютний метод оснований на використанні прямого рахунку всієї кількості часток ядер, що розпадаються в умовах геометрії, близької до 4π. При цьому активність зразка виражається не в імпульсах, а в одиницях радіоактивності – Кі і Бк. Для цього методу оцінки радіоактивності використовують такі 4π-лічильники, в які розміщують зразки: газопоточний типу СА-4БФЛ або рідинні сцинтилятори типу ЖС-1 чи

ЖС-7. Даний метод поки що не має широкого практичного використання через високу вартість 4π-лічильників і велику складність підготовки зразків. Але він є практично єдиним методом для вимірювання еталонних зразків.

Розрахунковий метод оснований на реєстрації імпульсів, що надходять від детектора на блок реєстрації і подальшій математичній обробці отриманих цифрових показників. При цьому істинну радіоактивність визначають за формулою:

$$A_{np} = \frac{N_{0\ np+\phi} - N_{\phi}}{\omega\ k\ p\ q\ r\ \gamma\ t} * 2.22 \cdot 10^2, \quad (3.13)$$

де $N_{0\ np+\phi} - N_{\phi}$ - швидкість лічби від проби без фону;
 ω – поправка на геометричні умови вимірювання;
 ϵ – Окорегуюча поправка на лічильну здатність детектора;
 k – поправка на поглинання випромінювань в шарі повітря і вікні (стінці) лічильника;
 p – поправка на самопоглинання в шарі препарату;
 q – поправка на зворотне розсіювання від кювети;
 r – поправка на схему розпаду;
 γ – поправка на γ -випромінювання при змішаному β - і γ -випромінюванні;
 t – вага препарату, мг;
 $2,22 \cdot 10^2$ – перехідний коефіцієнт від числа розпадів за хвилину в Кі.

Відносний метод оснований на порівнянні швидкості рахунку від препарату з відомою активністю (еталона) зі швидкістю рахунку від препарату невідомої активності (вимірюваного зразка). При цьому активність розраховують із такої пропорції:

$$A_{em} : N_{0\ em} = A_{np} : N_{0\ np},$$

звідси
$$A_{np} = A_{em} N_{0\ np} : N_{0\ em}. \quad (3.14)$$

В цьому методі головним є правильний підбір еталону, вартість якого у деяких випадках значно вища, ніж найдорожчий спектрометр. Тому еталони не може мати й лабораторія самого високого класу. Ними забезпечують спеціальні заводи по еталонуванню радіометричної апаратури. На заводі еталонів проводиться еталонування-паспортизація всіх приладів, призначених для експертної оцінки вмісту радіонуклідів. В

залежності від завдань лабораторіями замовляються коефіцієнти зв'язку для проб, що вимірюються. Для кожного виду зразку дані коефіцієнти визначається шляхом ділення A_{em} на N_{0em} .

$$A_{em} : N_{0em} = K_{3\beta} .$$

Після цього активність проби розраховують за формулою:

$$A_{np} = K_{3\beta} N_{0np} . \quad (3.15)$$

До відносного методу відносяться також експрес-методи визначення сумарної β -активності:

1) Методи визначення питомої масової сумарної β -активності.

а) Метод "тонких" зразків. "Тонким" вважається зразок такої товщини, при якій поглинання випущених β -частинок незначне. Швидкість лічби детектором β -частинок, випущених зразком, n_{ef} (кількість імпульсів, зареєстрованих за одиницю часу) пов'язана з питомою масовою сумарною активністю наступним чином:

$$q = \frac{n_{ef}}{d\Omega \varepsilon K_n m} , \quad (3.16)$$

де:

m – маса зразка;

K_n - коефіцієнт поглинання β -випромінювання в речовині зразка;

$d\Omega$ – коефіцієнт, який враховує, що лише частина випущеного випромінювання потрапляє до детектору;

ε – ефективність реєстрації випромінювання детектором.

Слід зазначити, що швидкість лічби детектора визначається не тільки β -випромінюванням зразка, але й фоновим (в основному космічним). Швидкість лічби фонового випромінювання вимірюється без зразка, а різниця загальної швидкості лічби та фонові і є швидкість лічби n_{ef} , пов'язана з активністю зразка.

Загальним недоліком метода "тонких" зразків є слабка чутливість внаслідок використання зразків з невеликою масою і малою активністю, що визначає низьку швидкість лічби β -випромінювання зразка і досить тривалий час вимірювань.

б) Метод "товстих" зразків. Застосовуючи метод "товстих" зразків питому масову сумарну β -активність визначають в зразках такої товщини, що її подальше збільшення не призводить до збільшення виходу β -частинок зі зразка. Наприклад, відомо, що пробіг β -частинок в біологічній тканині становить до 10 мм. Якщо взяти розмелений зразок біологічної тканини, то його активність в залежності від товщини приблизно буде такою: 7 мм – 70 Бк, 8 мм – 80 Бк, 9 мм – 90 Бк, 10 мм – 100 Бк, 11 мм – 100 Бк, 12 мм – 100 Бк. В даному прикладі товстим шаром буде зразок товщиною 10 мм. Сумарна швидкість лічби в такому випадку не залежить від товщини зразка, а прямо залежить від його питомої масової активності і не залежить від маси і щільності зразка:

$$q = K_T n . \quad (3.17)$$

Такий підхід дозволяє вимірювати зразки без зважування. Коефіцієнт K_T визначається при вимірюванні зразків з відомою питомою активністю і різний для різних радіонуклідів та їх сумішей. Тому при вимірюванні питомої масової сумарної β -активності необхідно мати інформацію про радіонуклідний склад проби і використовувати відповідний коефіцієнт.

Перевагами методу є, як вказувалося, є можливість вимірювання без зважування проби і відносно невеликий час вимірювання, який залежить від активності зразка.

2) Касетний метод. Підвищує лічильну здатність приладу та швидкість вимірювання зразку за рахунок збільшення кількості детекторів.

3) Кюветний метод. Дозволяє покращити геометричні умови вимірювання до 4π за рахунок того, що в абсолютному методі проба знаходиться в детекторі, а в даному випадку детектор знаходиться в пробі.

4) Визначення сумарної β -активності по зольному залишку. Використовується при низькій концентрації радіоактивних речовин в зразку. Розрахунок проводиться за формулою:

$$A_{np} = K_{ze} N_{0np} M , \quad (3.18)$$

де M – коефіцієнт зольності, що визначається діленням маси золи в грамах на масу сирого зразку в грамах.

Контрольні запитання

1. Поняття та основні завдання дозиметрії.
2. Коли розпочався розвиток дозиметрії.
3. Перерахувати основні дози випромінювання.
4. Що таке ліміт дози, і як він визначається?
5. Дати визначення річної ефективної дози.
6. Які вам відомі дозиметричні прилади? Принципи їх роботи.
7. Наведіть основні методи дозиметрії та методи визначення радіоактивності.

РОЗДІЛ IV

МІГРАЦІЯ РАДІОНУКЛІДІВ У НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Поширення радіонуклідів – актуальна проблема сьогодення, воно здійснюється вертикально і горизонтально з допомогою фізичних і біологічних факторів. Оскільки радіонукліди, що потрапили в ґрунт і воду швидко включаються в біологічний кругообіг. Забруднені території є відкритим джерелом поширення радіонуклідів, що з поверхневими і ґрунтовими водами надходять до річкових систем і виходять за межі зон відчуження.

§4.1 Міграція радіонуклідів в атмосфері

Радіоактивні речовини мігрують різними шляхами. Це основні фактори, що обумовлюють перерозподіл первинного радіоактивного забруднення територій.

Основними джерелами радіоактивного забруднення навколишнього середовища є:

1. Індукування хімічних елементів космічним випромінюванням;
2. Ядерні вибухи та інші випробування, військова діяльність;
3. Теплові енергетичні станції;
4. Промислові комплекси з повним ядерним паливним циклом, атомна промисловість;
5. Неконтрольоване використання радіонуклідної сировини та матеріалів;
6. Добування радіоактивних руд;
7. Вулканічна діяльність планети;
8. Пожежі лісів, торфовищ тощо.

Звичайно ці джерела нерівномірні за потужністю забруднення, ізотопним і фазовим станом забруднювачів. Наприклад, космічне випромінювання – це іонізуюче випромінювання, що безперервно і вічно надходить на поверхню Землі зі світового простору. У результаті взаємодії первинного космічного випромінювання (нейтронів, фотонів) з ядрами атомів кисню, азоту, аргону атмосфери утворюються космогенні радіонукліди, що потім надходять на земну поверхню з атмосферними опадами. Ця група представлена 20 радіонуклідами з періодами напіврозпаду від 32 хвилин до $7,4 \cdot 10^5$ років.

Особливо велика кількість радіоактивних речовин виносяться в атмосферу при випробуваннях атомної та термоядерної зброї у повітрі. Це перше за значимістю джерело радіаційного забруднення навколишнього середовища. При ядерному зриві у утворюється біля 250 ізотопів 35

елементів як безпосередньо “осколків” поділу ядер важких елементів, так і продуктів їх розпаду з періодами напіврозпаду від кількох секунд до мільйонів років. Більшість цих радіонуклідів здійснюють одночасно бета - і гама - випромінювання, деякі є джерелом бета або гама-випромінювання. При наземних і надземних випробуваннях радіоактивні частинки піднімаються на значну висоту, утворюючи своєрідні течії, що рухаються над Землею зі швидкістю до 200 км/год. Радіоактивна хмара, що утворюється при зриві ядерної бомби, може за два тижні обійти всю Землю. Небезпека для людей виникає тоді, коли радіоактивні частинки з атмосфери з опадами випадають на землю, а коли, де і в якій кількості вони випадають після вибуху, точно передбачити неможливо. Частина радіоактивних продуктів випадає недалеко від місця випробування, певна частина їх затримується в тропосфері, підхоплюється вітром і переноситься на величезні відстані. Знаходячись у повітрі біля місяця, радіоактивні речовини під час цих переміщень поступово випадають на землю. Більша частина радіоактивних продуктів викидається в стратосферу на висоту понад 10-50 км. Там вони залишаються протягом багатьох місяців, повільно опускаючись і розсіюючись по всій поверхні Землі.

У сучасних найдосконаліших ядерних пристроях коефіцієнт використання заряду становить близько 20%. Частина елементів заряду (урану, плутонію), що не вступили в реакцію, розпилюються силою вибуху на найдрібніші частинки, що містять атоми з властивостями вихідних радіонуклідів, створюють радіоактивні хмари і розносяться вітром на величезні території. У результаті реакції активації в районі вибуху з'являється додаткове джерело радіоактивного забруднення.

На сьогодні немає жодного продукту біосфери, де б не були присутні радіонукліди “бомбового” походження. Середня ефективна еквівалентна доза опромінення, зумовлена радіонуклідами ядерних випробувань становить біля 20-25 нкЗв за рік. Значні надходження радіонуклідів до навколишнього середовища становлять від використання кам'яного вугілля на паливо. Річна потреба вугілля у світі становить кілька мільярдів тонн, із яких 70% спалюється на електростанціях, 20% - у коксохімічному виробництві і 10% - використовується для опалення житла.

У складі кам'яного вугілля, як і в інших земних породах, містяться природні радіонукліди.

Розміри радіоактивного забруднення атмосфери при спалюванні вугілля залежить від ряду факторів: вмісту радіоактивних ізотопів у використовуваному вугіллі, кількості спалюваного вугілля, технології спалювання, ефективності систем утримування попелу та інших продуктів горіння. Наприклад, за умови існуючих технологій очищення до атмосфери надходить до 10% утвореного летючого попелу.

На всіх етапах замкненого ядерного паливного циклу, починаючи з видобутку уранової сировини, її збагачення і закінчуючи переробкою відпрацьованого палива, захоронення високоактивних відходів, відбувається вивільнення штучних радіонуклідів у навколишнє середовище, а також прискорення темпів міграції важких природних радіонуклідів.

Нині атомна енергетика розвивається в основному для виробництва електроенергії, частка якої в загальному споживанні енергоресурсів становить близько 20%, а в деяких країнах – до 80%, в Україні – до 40%.

Масштаби і інтенсивність міграції радіонуклідів в атмосфері визначаються наступним: ефективною висотою викидів їх в атмосферу, фазовим станом викидів, формою і дисперсністю частинок аерозолі, географічними координатами місця викиду, атмосферними умовами.

Залежно від впливу цих факторів виділяють локальні, тропосферні (нижній шар атмосфери висотою до 8-10 км) і стратосферні (шар атмосфери, що лежить над тропосферою від 10 до 80 км) – глобальні випадіння.

Локальні випадіння спостерігають у районі до кількох сотень кілометрів від джерела. Радіоактивні речовини локальних випадань поширюються в нижніх шарах атмосфери. Тривалість випадання залежить від пори року і широти місцевості.

Тропосферні випадіння спостерігаються при ядерних вибухах і великих аваріях на АЕС. Вибухи, потужністю в кілька кіловат тротилового еквіваленту, забруднюють в основному тропосферу. Могутні вибухи, мегатонної потужності, забруднюють стратосферу.

Умовно забруднення території України, Білорусі і Росії розбивають на чотири “сліди”: західний, північний, південний та північно-східний. Найбільш складний характер радіоактивного забруднення як за інтенсивністю, так і за складом основних нуклідів спостерігається на шляхах західного, північно - східного та південного слідів, що охоплюють практично повністю територію Українського Полісся та значні території на південь від Києва.

Отже, шляхи міграції можна розділити на наступні:

- ареальне випадання з атмосфери (сухе і вологе);
- водні міграції;
- поверхневими та внутрішньо-грунтовими стоками;
- у процесі повторного перерозподілу внаслідок руху повітря;
- антропогенний;
- внаслідок життєдіяльності різних живих систем.

§4.2 Міграція радіонуклідів у водоймах

Радіонукліди у воду річок, що беруть початок у горах, можуть потрапляти з гірських порід, що в різних кількостях містять радіоактивні елементи та продукти їх розпаду (уран, торій, калій-40, радон тощо). Радіоактивність поверхневих вод завжди значно нижча, ніж підземних. Найбільше урану, радію, торію міститься в підземних водах уранових покладів. Зі збільшенням глибини підземних водних джерел концентрація радіонуклідів в них підвищується.

У воді підземних джерел, що використовується для пиття людиною і тваринами, допускається вміст радіонуклідів тільки природного походження і в кількості, що не перевищує максимально допустимі норми для відкритих водойм.

У воду можуть потрапляти радіонукліди штучного походження, що потрапляють з атмосфери, з дощовими і талими водами, з відходами атомних реакторів, з підприємств радіохімічної промисловості і різних інших, що застосовують радіоізотопи.

Гідробіонти (мікро - і макроорганізми накопичують і депонують в собі радіонукліди. Тому споживання води, що містить значний вміст гідробіонтів та мулу зростає можливість радіаційного ураження тварин і людини, які споживають воду що містить багато мулу і гідробіонтів.

Радіоактивні речовини до водойм можуть потрапляти з атмосфери, з ґрунту, через змиви та скиди.

Міграція радіонуклідів у водоймах забезпечується течіями, зоогідробіонтами, які поїдають фітогідробіонтів забруднених радіонуклідами. Певне місце нині має використання забрудненої води для зрошування у сільському господарстві та промисловості. Особливо значна міграція радіонуклідів здійснюється у водоймах текучих. У водоймах можуть зустрічатися тритій, цезій, цирконій, стронцій тощо.

Радіонукліди накопичуються у поверхневому шарі води. Так, у водосховищах у поверхневому шарі концентрація радіоізотопів може доходити до 370 мБк/л, а в товщі води – 185 мБк/л. Станом на 1965-1966 роки у водах Тихого океану концентрація стронцію-90 у поверхневому шарі води спостерігалась у 1,5 вищою, ніж на глибині 1000 м.

Природним фактором самоочищення водойм є мікроорганізми. Це встановлено в дослідженнях, проведених на Байкалі.

У ґрунті дна водойм концентрація радіонуклідів у десятки разів вища, ніж у воді, внаслідок їх адсорбції на поверхні мінеральних і органічних речовин. Тому гідробіонти, які ведуть бентозний (донний) або прибентозний спосіб життя, уражаються від радіаційного забруднення більшою мірою, ніж пелагічні (ті, які живуть у товщі води). У залежності від інтенсивності опромінення радіація може здійснювати на гідробіонтів стимулюючий, пригнічуючий, ушкоджуючий або летальний вплив.

Як правило, з підвищенням рівня організації гідробіонтів, їх радіочутливість зростає. Найбільш стійкі до радіації бактерії. Деякі з них витримують опромінення понад 1 млн. Рентген. Водні рослини більш стійкі до опромінення, ніж тварини.

Доза радіації, що обумовлює загибель 50% опромінених протягом 30 днів організмів наступна:

- для водних рослин – 0,1...0,5 Гр;
- для безхребетних – 0,01...2 Гр;
- для риб – 5...40 Гр (при високих температурах радіочутливість риб значно зростає);
- для водних ссавців – 2...5 Гр.

§4.3 Розподіл радіонуклідів у морській екосистемі

Роль морів і океанів у підтриманні стабільності всієї біосфери величезна. Для розуміння цієї ролі розглянемо явище транспортування радіонуклідів, трейсерів (міток) чи маркерів, що характеризують екосистеми.

Найбільші надходження радіонуклідів у моря й океани були під час випробувань ядерної зброї в 1950-1960 рр. Додаткове локальне забруднення морських екосистем відбувається від скидань і викидів ядерних реакторів, заводів із виробництва ядерного палива, від захоронення у морях радіоактивних відходів, аварій та ін. Природні радіонукліди потрапляють у моря внаслідок ерозії гірських порід.

Більшість ядерних військових випробувань проводилися на континентальному шельфі й островах Тихого океану в 1946-1962 рр. Так, Велика Британія провела кілька ядерних випробувань на Тихому океані в 1952-1958 рр., Росія проводила ядерні випробування на полігонах у полярних морях біля Кольського півострова і на Новій Землі.

Ядерні випробування у Тихому океані призвели до локальних радіонуклідних забруднень. Дослідники вважають, що внаслідок таких випробувань у океані і морях випало більше радіонуклідів, ніж на сушу. Частина радіонуклідів, що випали на сушу, потрапляє в океан через вітровий і поверхневий стоки.

Найважливішою складовою поверхневого стоку радіонуклідів у морські екосистеми є стік річок. Так, стік Дніпра є визначальним в оцінці депонування радіонуклідів, зумовлених Чорнобильською аварією, в Чорному морі й Світовому океані. За проведеними оцінками активність стоку радіонуклідів у Чорне море становить $(185-740) \cdot 10^{10}$ Бк (50-200 Ки) на рік.

У морській воді містяться також природні радіонукліди. Це насамперед калій-40, уран, торій, радій і рубідій. Штучні радіонукліди

представлені продуктами поділу урану і радіонуклідами, що утворилися зі стабільних елементів після активації нейтронами.

Інший важливий чинник міграції радіонуклідів у морях і океанах - хімічний склад води. Встановлено, що вміст Н, О, Na, Сl досягає 10-19 г/л, а К і Са - 380-400 мкг (у прісній воді їх вміст становить близько 10-8 г). Унаслідок цього прісноводні організми, у тому числі риби, поглинають значно більше Cs^{137} і Sr^{90} , ніж морські.

Інша причина меншого накопичення цих радіонуклідів у морських організмах полягає в тому, що море, на відміну від прісноводних водоймищ, містить величезний об'єм води для розведення радіонуклідів. Радіонукліди Cs^{137} і Sr^{90} у морській воді містяться в розчинній формі й унаслідок високої концентрації хімічних аналогів (носіїв) у незначній кількості входять до складу морської біоти. У відкритому океані, де мала кількість біоти, радіонукліди перерозподіляються між водою та різними суспензіями. Дослідження розподілу радіонуклідів за глибиною показали, що значна частина радіонуклідів міститься на глибині менш ніж 100 м, а решта - до 1000 м.

Біота також впливає на міграцію радіонуклідів. Ступінь біотичного впливу залежить від радіонуклідів та інших чинників середовища. Так, планктон і вищі організми накопичують радіонукліди в значній кількості і захоронюють їх завдяки екскреції. Популяції малих організмів, наприклад фітопланктон, для якого характерні швидкі процеси обміну, переносять значні кількості радіонуклідів у глибокі шари води й у седименти після відмирання.

§4.4 Міграція радіонуклідів у ґрунті

Основним приймачем радіоактивних опадів на Землі є ґрунт. Але ґрунт значною мірою вкритий рослинами, сумарна площа листя може в багато разів перевищувати площу ґрунту, на якій вони ростуть.

Якщо радіоактивні речовини вже потрапили в атмосферу, то зменшити у великих масштабах їхнє випадання на ґрунт і рослини неможливо.

Незалежно від типу ґрунту велика кількість нуклідів затримується у верхній частині ґрунтового профілю (0-10 см). Вміст радіонуклідів поступово зменшується з глибиною.

Міграція радіонуклідів у ґрунті залежить від хімічних властивостей радіоактивних елементів, стану та форми їх розміщення: дифузія в ґрунтовому розчині та перенесення з гравітаційною течією води. Під час конвективного перенесення вологи радіонукліди мігрують у ґрунті не лише в розчиненому стані, але й у стані твердої форми.

Міграція радіонуклідів у ґрунті може здійснюватися поверхневими та ґрунтовими стоками води, процесами дефляції (перенесення ґрунтових

мас водою), вітрової ерозії (перенесення ґрунтових мас вітром), тваринами. Певне місце у цьому має і антропогенний фактор, зокрема, сільськогосподарська, транспортна, будівнича, вугільно - та рудно-добувна діяльність тощо.

Рослинний покрив та тварини є важливим регулюючим фактором перерозподілу радіонуклідів у ґрунті. Є повідомлення про те, що, наприклад, рапс підіймає радіонукліди глибини на поверхню ґрунту, здійснюючи якби вертикальну міграцію радіонуклідів у ґрунті.

Певною мірою міграція радіонуклідів залежить і від типу ґрунту, а також ізотопного складу радіоактивних частинок, рельєфу. Так, радіонукліди, як і більшість елементів мінерального живлення рослин, мають підвищену рухливість і здатність надходити в рослини у кислому середовищі. Ґрунти Полісся належать до кислих і слабо кислих ($pH = 3,5 - 6$).

За певних умов вітром можуть підійматися радіоактивні частинки з ґрунту у повітря й осідати на ґрунт, рослини, водойми уже в іншому місці. Вони можуть змиватися з поверхні ґрунту дощовим й талими водами з площ водозборів у водойми, забруднюючи їх додатково.

Із рештками рослин, відходами тваринництва радіоактивні речовини знову потрапляють у ґрунт і знову починають свій шлях увздовж ланцюгів живлення.

§4.5 Міграція радіонуклідів у лісі

Серед природно-кліматичних зон ліс є такою, що найбільшою мірою накопичує радіонукліди, окрім того, ліс найдовше їх утримує. Найінтенсивніше радіонукліди накопичуються в ростучих частинах організму рослин і тварин. Так, у рослин до таких частин відносяться листя, плоди, ягоди, молоді пагони, внутрішня частина кори, колючки, а найменше радіонуклідів у деревині.

Рослини є основними переносниками радіоактивних речовин з ґрунту в організм тварин і людини. Хоча на переході ґрунт – рослина можна досить істотно впливати на нагромадження радіоактивних речовин сільськогосподарськими рослинами. Радіонукліди надходять у рослини тоді, коли вони переходять у ґрунтові розчини. Цей процес, як і взагалі рухомість речовин, прискорюється у кислому середовищі.

Радіоактивне забруднення продукції рослинництва залежить не тільки від ступеня забруднення ґрунту, але й від його здатності до зв'язування і утримування радіонуклідів. Ця здатність визначається фізико-хімічними та агрохімічними властивостями ґрунтів. Наприклад, на Поліссі вона найслабкіша, значно вища – у сірих лісових, ще вища - у чорноземів Лісостепу.

Накопичення радіонуклідів залежить також від фітомаси. Так, завжди радіонуклідів більше в наземній частині рослини, а серед наземної – в ягодах, плодах. Щодо тварин, то їх найбільше в шерсті, шкірі, червоному кістковому мозку, у паренхімі залоз внутрішньої секреції.

Накопичення радіонуклідів проходить інтенсивніше в умовах вологого клімату. Кількість опадів, вологість ґрунту впливають на міграцію радіонуклідів.

Міграція радіонуклідів повною мірою відповідає закону В.І. Вернадського про біогенну міграцію атомів, що формулюється так: міграція хімічних елементів на земній поверхні і в біосфері в цілому здійснюється або при безпосередній участі живої речовини (біогенна міграція), або ж протікає у середовищі, геохімічні особливості якого обумовлені живою речовиною, як тією, яка нині населяє біосферу, так і тією, яка діяла на Землі протягом всієї геологічної історії. Цей закон з особливою силою проявляється на такій природній арені, до якої відноситься ліс.

Особливе місце в екосистемі лісу займають гриби. Внесок грибів у біологічний кругообіг Cs^{137} у кілька разів перевищує внесок деревного і трав'янисто-чагарникового ярусу. Гриби є одним із головних факторів, що визначають роль підстилки як біохімічного бар'єру на шляху вертикальної міграції радіонуклідів у лісових екосистемах.

Значну небезпеку в перерозподілі радіоактивних частинок становлять лісові пожежі, внаслідок яких різко знижується радіомісткість лісових екосистем, оскільки радіоактивні частинки у складі аерозолів і газоподібних сполук виносяться в повітря. Згідно із загальноприйнятою класифікацією лісових пожеж (верхові, низові, підземні) найбільше радіонуклідів виносяться за межі лісового біогеоценозу при верховій стійкій пожежі. При підземних пожежах на торфовищах, коли торф вигоряє повністю, всі радіонукліди, що містяться в ньому, можуть перейти в аерозольний стан. При низових пожежах горить сухий ґрунтовий покрив, при цьому вивільнюється 5-20% загального запасу радіонуклідів лісового масиву. Лісові пожежі порушують надійне депонування радіоактивних частинок у лісових екосистемах і призводять до перерозподілу первинного радіозабруднення території.

Біоіндикатором забруднення рослин є реакція на них бджіл.

§ 4.6 Групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів

Радіонукліди надходять до рослин двома основними шляхами: некореневе надходження - внаслідок забруднення надземних органів радіоактивними частинками, що випадають з повітря; кореневе надходження – через кореневу систему з ґрунту.

Лікарські рослини за рівнем накопичення радіонуклідів можна поділити на п'ять наступних груп:

1. дуже сильного накопичення – ягоди черниці, спори плауна булавовидного;

2. сильного накопичення – лист брусниці, качани багна болотного, трава чистотілу звичайного, бруньки сосни звичайної;

3. помірного накопичення – трава фіалки триколірної, звіробою звичайного, суцвіття конвалії звичайної, пижмо звичайної, листя мучниці, кора крушини ламкої;

4. слабкого накопичення – кропива дводомна, материнка звичайна, чебрець звичайний, спориш, кора дуба, суцвіття цмину піщаного;

5. дуже слабкого накопичення – кореневища татарського зілля, валеріана лікарська, шишкоягоди ялівцю звичайного, топінамбур, дайкон.

Дайкон – це рослина з Японії, але добре росте в природно-кліматичних умовах України. Нині виведено понад 400 сортів дайкону. Дайкон, так як і редька, редиска, хрін, очищає печінку і нирки. У коренеплодах дайкона відсутні гірчичні олії. Варто поширювати цю рослину в Україні.

Контрольні запитання

1. Вкажіть фактори, що обумовлюють міграція радіонуклідів у атмосфері.
2. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у водоймах.
3. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у ґрунті.
4. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у лісі.
5. Визначить місце тварин у перерозподілі радіаційного забруднення та їх вплив на міграцію радіонуклідів.
6. Вкажіть групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів.

РОЗДІЛ V

ЕЛЕМЕНТИ РАДІОБІОЛОГІЇ ТА РАДІОМЕДИЦИНИ

§ 5.1 Поняття радіаційної медицини

Радіаційна медицина — наука, яка вивчає особливості впливу іонізуючого випромінювання на організм людини, принципи лікування радіаційних уражень та профілактики можливих наслідків опромінення населення.

Існування різних типів іонізуючого випромінювання обумовлює необхідність, у першу чергу, знання їхньої характеристики, особливостей взаємодії іонізуючого випромінювання із субстратом, молекулярних механізмів дії іонізуючого випромінювання.

Радіаційне ушкодження розглядається на рівні клітин, клітинних популяцій, тканин, окремих органів, критичних систем і організму в цілому. Особлива увага приділяється клініці гострої та хронічної променевої хвороби.

Різноманіття проявів променевого ураження при інкорпорації радіонуклідів представлено в органічному зв'язку з інформацією про шляхи надходження, особливості розподілу найважливіших радіонуклідів в організмі, кінетику їхнього виведення. Найтиповіші форми уражень, що розвиваються, розглянуто залежно від поглиненої дози випромінювання.

Сформульовано принципи відбору показників індикації, прогнозу променевих уражень, спосіб їхньої корекції. Визначено методологічні основи, наведено приклади використання біохімічних, гематологічних, імунобактеріологічних показників променевого ураження.

Запобігання шкідливій дії іонізуючих випромінювань відбувається шляхом втручання в процеси, які відбуваються в організмі під час опромінення.

Для розв'язання медико-соціального завдання захисту організму, який розвивається під впливом іонізуючої радіації, необхідні знання особливостей реакції організму на всіх етапах індивідуального розвитку, закономірностей спадкування ураження, облік можливого надходження радіонуклідів через плаценту та з молоком матері.

Особливу увагу приділено проблемі віддалених наслідків як у практичному відношенні (диспансеризація опромінених контингентів, заходи щодо зниження ризику виникнення віддалених наслідків), так і в теоретичному (механізми виникнення, модифікуючі фактори).

Чорнобильська трагедія привернула увагу багатьох вчених до розв'язання згаданих вище й інших специфічних для чорнобильської аварії проблем (тривале мешкання на забруднених радіонуклідами територіях з різною радіочутливістю, одночасний вплив комплексу несприятливих

факторів). Результати пошуків вчених у даному напрямку збагатили радіаційну медицину.

Радіаційна медицина — це комплексна наукова дисципліна, тісно пов'язана з низкою теоретичних та прикладних сфер знання, таких як генетика, біофізика, цитологія, ядерна фізика, біохімія, фізіологія, біологія, радіобіологія.

Недостатній рівень знань у галузі радіаційної медицини, обумовлений, зокрема, складністю цієї «збірної» дисципліни, може призвести до неадекватної реакції людей, включаючи лікарів, як на аварійну ситуацію, так і на вплив іонізуючої радіації з діагностичними та лікувальними цілями.

§5.2 Опромінення в медичних цілях

Опромінення в медичних цілях становить особливий інтерес, тому що його внесок у дозу, яку отримує населення, найбільший. Причому, на відміну від інших видів опромінення, його впливу піддаються тільки обмежені ділянки тіла.

Основні напрямки застосування іонізуючих випромінювань у медицині: рентгенодіагностика, радіонуклідна діагностика і променева терапія.

За зменшенням величини дози, яку одержує пацієнт, методи рентгенодіагностики можна розташувати так: рентгеноскопія, ксерографія, флюорографія.

Для радіонуклідної діагностики застосовують мічені сполуки, що мають оптимальний період напіврозпаду радіонукліда, малу радіотоксичність і характерні біологічні властивості.

Основним радіаційним фактором при рентгенологічних дослідженнях є зовнішнє рентгенівське випромінювання трубки в режимі просвічування, тобто з напругою генерування менше 100 кВ, що має нерівномірний характер як за локалізацією (переважно голова, грудна клітка і руки), так і за глибиною. Опромінення голови, грудної клітки і особливо рук відносно великою дозою має місце при спеціальних процедурах і роботі на окремих типах апаратів (пошук сторонніх тіл за допомогою переносної апаратури, та ін.). У частини персоналу (санітарки, що підтримують хворих, дітей, лікарі-рентгенологи при трохоскопії) переважному опроміненню піддаються інші ділянки тіла (таз, живіт).

Середньорічна доза опромінення лікарів-рентгенологів, лаборантів і медсестер, санітарок рентгенодіагностичних кабінетів (відділень) медичних закладів України в 1981–1993 рр. становила 1,2–4,4 мЗв/год.

Середньорічна доза опромінення персоналу радіонуклідних діагностичних закладів України і персоналу кабінетів променевої терапії за той же період становила 0,8–1,8 мЗв/год. У медичних закладах також

здійснюється робота з радоном. Середньорічна доза опромінення персоналу радонових лабораторій становить 0,8–4,8 мЗв/год.

§5.3 Опромінення в немедичних цілях

Рентгеноструктурний аналіз. Основну радіаційну небезпеку становить можливість локального опромінення рук, очей, голови або інтенсивного робочого пучка відносно невисокими енергіями випромінювання (10–40 кВ). Потужність дози у зв'язку з малою відстанню від антикатада трубки і слабкою фільтрацією променів може досягати таких значень, що кілька секунд опромінення можуть стати достатніми для розвитку гострих променевих уражень шкірних покривів.

Промислова гамма-дефектоскопія. Основними радіаційними факторами є зовнішні загальні та місцеві гамма-опромінення рук, окремих частин тіла. При порушенні правил збереження джерел радіації, що супроводжуються підвищеним опроміненням персоналу й окремих осіб, виникають місцеві променеві зміни на ділянках безпосереднього зіткнення з джерелом (шкіра рук, передня поверхня стегон або грудної клітки при перебуванні джерела в кишені штанів або куртки). Описано й тяжкі випадки з летальним результатом.

Робота на прискорювачах ядерних частинок. Люди, зайняті обслуговуванням прискорювачів, піддаються комбінованому загальному і місцевому впливу гамма - і бета - випромінювання і частинок високих енергій, у тому числі нейтронів. Описано місцеві ураження кришталіків, променеві катаракти в осіб, які пропрацювали багато років.

Ядерні реакції дослідного призначення й енергетичні установки, що використовують ядерне паління. Основним радіаційним фактором, пов'язаним переважно з активною зоною реактора, є зовнішнє гамма-нейтронне випромінювання. За деяких спеціальних умов істотного значення набуває зовнішнє бета - і рентгенівське випромінювання, надходження в навколишнє середовище радіоактивних аерозолів і газів (аргону, криптону, ксенону, йоду та ін.).

Виробництво світлосполук. Основними радіоактивними факторами за даних умов є такі:

- зовнішні — гамма - і бета-випромінювання від люмінуючих речовин;

- альфа - і бета-опромінення органів і тканин у випадку надходження до організму інгаляційним шляхом або через травний тракт радію, мезоторію, стронцію тощо;

- гамма - і бета-опромінення шкірних покривів, які безпосередньо стикаються з радіоактивною речовиною;

- опромінення органів дихання від радону, торону і тритію, які потрапляють до організму та видихаються.

Робота з ураном та його сполуками. При роботі в безпосередній близькості до джерела з природними мінералами, що містять уран, персонал піддається слабкому радіаційному впливу. Гостра форма інтоксикації може виникнути лише при особливій ситуації одночасного надходження значних кількостей розчинних сполук урану. Вона характеризується клінічним синдромом тяжкої токсичної нефропатії аж до розвитку уремії, ураженням печінки, що виявляється при гострому перебігу захворювання.

Розвідка корисних копалин за допомогою радіоактивних джерел. Ця робота супроводжується безпосереднім контактом персоналу з гамма - і нейтронними джерелами різної потужності.

Опромінення стає істотним лише при порушенні правил збереження, транспортування й експлуатації джерел.

Радіоактивні речовини. Нині, мабуть, немає жодної галузі науки і техніки, де б тією чи іншою мірою не застосовували радіоактивні речовини. Підвищений інтерес до використання радіоактивних речовин пояснюється тими можливостями, які відкриваються перед наукою і технікою у зв'язку з використанням енергії, що вивільняється при ядерних перетвореннях. Коло людей, які ведуть роботу з радіоактивними речовинами, дуже широке — це фізики, хіміки, металурги, медики, біологи, агрономи, археологи та представники найрізноманітніших професій. Радіонукліди успішно використовуються для боротьби зі шкідниками, для дезінсекції зерна, виведення нових сортів насіння. Використання радіонуклідів у якості так званих мічених атомів дозволило вивчити нові закономірності та зробити ряд важливих відкриттів у біології, хімії, металургії, археології.

Деякі штучні радіонукліди, створювані шляхом опромінення в реакторах, набули широкого застосування з метою терапії, діагностики і різноманітних наукових досліджень. Сумарна кількість цих радіонуклідів у діагностичних і дослідних лабораторіях при правильно організованій роботі незначна, але значно вища, ніж при використанні радіоактивних речовин з метою терапії. Можливість опромінення персоналу підвищеною дозою в цих випадках створюється лише при порушенні елементарних правил роботи.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення радіомедицини як науки.
2. Опишіть основні напрями застосування іонізуючих випромінювань в медицині.
3. Якою повинна бути середньорічна доза опромінення працівників у галузі променевої терапії?
4. Перелічити види опромінювань в немедичних цілях та описати їх вплив на людину.

РОЗДІЛ VI

ЗАХОДИ ТА ПРИНЦИПИ ДЕЗОКТИВАЦІЇ ТА РЕАБІЛІТАЦІЯ РАДІАЦІЙНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ОБ'ЄКТІВ І ТЕРИТОРІЙ

§ 6.1 Дезактивація харчових продуктів

Антропогенне забруднення радіонуклідами середовища життя людини і тварин настільки інтенсивне, що природа нездатна реалізувати принципи самоочищення, самоадаптації, самозахисту тощо. Тому в першій половині XX століття сформувалась наука радіобіологія, яка, по-перше, вивчає вплив всіх видів іонізуючого випромінювання на живі організми та їх спільноти; по-друге, займається пошуком різних засобів захисту організмів від опромінення та шляхів їх пострадіаційного відновлення й очищення.

Дезактивація – це широке поняття і є важливим заходом у процесі захисту й очищення організму від радіоактивних забруднень. За сучасної ситуації докільця дезактивація повинна стати елементом виробництва, особливо сільськогосподарської продукції.

Дезактивація – це видалення радіоактивних речовин з озброєння, військової діяльності, техніки, одягу, харчових продуктів, місцевості, ґрунту та води. Дезактивація використовується як засіб захисту населення і об'єктів народного господарства від дії радіації.

Найпоширенішими методами дезактивації є видалення радіоактивних речовин розчинами, що знижують поверхневий натяг (мило та миючі засоби). Ефективним засобом видалення радіації зі спецодягу, рук, тіла є миття у проточній воді, душ, а коли такої можливості нема, то воду необхідно декілька разів міняти.

Для створення безпеки проживання населення в умовах радіаційного забруднення території при постійному вживанні для харчування місцевих продуктів необхідно дотримуватись низки простих правил. Їх дотримання і своєчасне здійснення виключає надходження до організму і накопичення радіонуклідів вище рівня допустимих норм.

Радіоактивні речовини, що потрапляють на поверхню Землі, включаються до біологічного кола обігу речовин перш за все через рослини.

За умови радіаційного забруднення важлива особливість підготовки до використання чи послідууючої переробки продуктів рослинництва полягає в застосуванні нескладних заходів первинної дезактивації і технологічної обробки. Це такі загальноприйняті заходи, як миття у проточній воді овочів і фруктів, очищення овочів, картоплі, зрізання верхніх листків капусти, обрізання головок коренеплодів тощо. Ці заходи знижують радіоактивне забруднення продуктів у 2-10 разів.

§ 6.2 Зменшення забруднення житлових приміщень

Житлові приміщення забруднюються радіонуклідами через повітря; при спалюванні дров, вугілля та торфу; побутові предмети, що заносяться з вулиці, брудне взуття та одяг, забрудненні продукти харчування.

Зменшення забруднення житлових приміщень досягають, дотримуючись чистоти: роблять вологе прибирання, робочий одяг і взуття слід залишати поза житловими приміщеннями, попіл з печі вибирають після попереднього зволоження його водою, побутові предмети протирають вологими серветками тощо.

Воду після волого прибирання, миття взуття тощо слід зливати у визначеному місці, віддаленому від природних водойм та джерел питної води не менше, ніж на 200 м.

Особливу уваги необхідно звертати на провітрювання і вентиляцію підвальних та приміщень, що знаходяться на перших поверхах, оскільки в них може накопичуватись значна концентрація газу радону. Фіранки і вентилятори корисно облаштовувати фільтрами, наприклад, ватно-марлевими, які легко зволожувати.

Радон до приміщень може надходити з води і природного газу. У сирій воді радону значно більше, ніж у кип'яченій. До легень радон проникає з парами води. Це може здійснюватись при прийманні гарячого душу, в бані. З природнім газом радон змішується під землею, а при спалюванні в кухонних плитах потрапляє до житлових приміщень.

До житлових приміщень радіація може надходити з вугілля, що використовується для опалення. З камінів, груб житлових приміщень виділяється значна кількість радіонуклідів.

Істотно знижує надходження радіонуклідів до приміщень з порохом, коли навкруги будинків висаджені дерева і кущі. Будинки, розміщені вздовж вулиць, слід відгороджувати насадженнями дерев від проїзної частини. До приміщень радіація може надходити і з будівельних матеріалів. Дерево, цегла, бетон виділяють невелику кількість радіації, а граніт і залізо – значно більше. Дуже радіоактивні глиноземи. Тому досить високу радіоактивність має червона глина, відходи виробництва алюмінію, доменний шлак – відходи чорної металургії, пил попелу при спалюванні вугілля.

Деяка частина радіації до житлових приміщень надходить від використання кольорових телевізора, комп'ютерів, фосфоролюючих вмикачів та циферблатів, хоч ці дози зазвичай невеликі, але вони можуть перевищувати природній фон.

§ 6.3 Дезактивація ґрунту

Ґрунт володіє властивістю сорбувати і утримувати радіонукліди, чим обумовлюється його бар'єрна функція надходження радіонуклідів до рослин. Хоча, ряд радіонуклідів досить легко десорбуються, наприклад Sr^{90} , Cs^{137} й надходять до організму рослин, а потім тварин і людини.

Найбільш ефективний засіб профілактики включення радіонуклідів до біологічного кола обігу є глибока оранка (понад 25-30 см).

Простим і важливим заходом є перекопування ґрунту на необроблених ділянках зразу після забруднення. Потім здійснюється санітарна обробка ґрунту. На ділянках, що прилягають до місця проживання: прибирання сміття і захоронення харчових відходів. При цьому необхідно дотримуватися певних вимог: захоронення проводити в спеціально виритих ямах глибиною до 1 м. Місце захоронення необхідно загородити і помітити.

Внесення до ґрунту вапна зменшує надходження радіонуклідів з ґрунту до рослин.

§ 6.4 Очищення питної води

За умови опромінення молекули води іонізуються, втрачаючи свої біологічні властивості. Очищення питної води здійснюють фільтруванням, відстоюванням та заморожуванням. Після відстоювання води верхній і нижній її шарі не споживають. Для цього слід використовувати спеціальний посуд з краником приблизно біля межі однієї третьої від загального об'єму води знизу.

Можлива також обробка води хімічними препаратами, що зв'язуються з радіоактивними елементами і потім легко осаджуються. Важливо також питну воду перекип'ятити та охолодити перед споживанням.

На водосховищах та водопровідних станціях питна вода очищається від радіонуклідів методом осадження колоїдних частинок з послідуною фільтрацією.

Контрольні запитання

1. Вкажіть основні методи дезактивації житлових приміщень.
2. Опишіть способи дезактивації продуктів харчування.
3. Як проводиться дезактивація ґрунту?
4. Вкажіть методи дезактивації води.

РОЗДІЛ VII

НОРМИ І ПРИНЦИПИ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

§ 7.1 Принципи радіаційної безпеки

Радіаційна безпека та протирадіаційні заходи – це наука і практика збереження здоров'я людини в умовах роботи з різними джерелами іонізуючого випромінювання (ІВ). У даному випадку здоров'я необхідно розглядати як стан повного фізичного, державного, соціального благополуччя, а не тільки відчуття хвороб чи фізичних вад. Основним принципом любого виду діяльності є те, що всяка діяльність має сенс тільки тоді, коли вона не погіршує здоров'я людини. Згідно резолюції Генеральної Асамблеї ООН кожна людина на планеті має право на охорону здоров'я. Охорона здоров'я людини має забезпечуватися державою, громадянином якої вона є. Визначальним показником здоров'я є тривалість життя людей і смертність дітей. У багатих людей тривалість життя становить у середньому 73 року, а смертність дітей – 8,6 на 1000. У бідних людей тривалість життя становить в середньому 48 років, а смертність дітей 125 на 1000. Сьогодні здоров'я людини залежить від економіки (50%), навколишнього середовища (20%), генетики та індивідуальних особливостей (20%), якості медичного обслуговування (10%).

Захищаючи людину від радіаційного враження ми захищаємо все живе на планеті. Робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання є потенційно небезпечною.

В основі нормування радіаційного впливу на організм людини лежать відомості про біологічну дію іонізуючих випромінювань. В експериментах на тваринах та вивчення наслідків опромінення людей при ядерних вибухах, аваріях на підприємствах ядерно-паливного комплексу, променевої терапії злоякісних пухлин та в інших ситуаціях були встановлені реакції організму на гостре та хронічне опромінення. За умови значних доз опромінення розвиваються детерміністичні ефекти через відносно короткий термін, а за умови опромінення малими дозами проявляються стохастичні ефекти – віддалені наслідки опромінення (злоякісні пухлини як наслідок соматико- стохастичного ефекту та аномалії розвитку нащадків як генетичні стохастичні ефекти).

Правила безпеки при роботі з радіоактивними речовинами регламентуються Міжнародною Комісією по радіаційному захисту, рекомендації якої коректує та затверджує Міжнародний радіологічний

конгрес. На основі прийнятих конгресом пропозицій у країнах світу розробляються

відповідні правила та затверджуються закони, що визначають норми безпеки роботи з радіоактивними речовинами. Всі вони містять у собі організаційні, технічні, гігієнічні, профілактичні і лікувальні заходи.

У грудні 1955 року Генеральна Асамблея ООН заснувала науковий комітет по вивченню наслідків дії радіації на організм людини. Цей комітет об'єднує вчених понад 20 країн світу. Він є найбільш авторитетною установою такого роду. Але він не встановлює норми радіаційної безпеки, а служить лише джерелом відомостей про радіацію, на основі яких, наприклад, такі органи як Міжнародний комітет радіаційного захисту (МКРЗ), Міжнародне агентство з атомної енергії при ООН (МАГАТЕ) та відповідні національні комісії і відомства розробляють відповідні норми і рекомендації.

На державному просторі України і Росії норми радіаційної безпеки (НРБ) були розроблені і опубліковані у 1976 році, а після Чонобильської катастрофи – доповнені, удосконалені і опубліковані у 1987 році. Нині в Україні робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання регламентується двома основними нормативно-правовими документами, що мають силу закону: “Норми радіаційної безпеки України” (НРБУ-97) та “Основними санітарними правилами протирадіаційного захисту України” (ОСПУ- 2001). Вони поширюються на заклади і підприємства всіх міністерств і відомств, професійних спілок та інших суспільних, кооперативних і приватних організацій. НРБ є основним документом. Що регламентує рівні дії іонізуючого випромінювання.

Основні принципи радіаційної безпеки такі:

- виправданості (користь від вибраної людиною діяльності перевершувала сумарні збитки для суспільства чи людини);
- не перевищення (виключення перевищення встановлених нормативних рівнів опромінення);
- оптимізації (користь від вибраної людиною діяльності має бути максимальною, а дози опромінення мають бути якомога нижчими);
- дотримання прийнятого дозового рівня;
- виключення будь-якого необґрунтованого опромінення;
- зниження дози опромінення до можливо найнижчого рівня.

Регламентує правила радіаційної безпеки Міжнародна Комісія по радіаційному захисту (МКРЗ).

Основні принципи радіаційної безпеки за умови зовнішнього опромінення полягають у наступному:

1. Скорочення часу роботи в умовах дії опромінення (фактор часу, або експозиції).
2. Зниження інтенсивності опромінення при роботі в умовах опромінення (фактор кількості).

3. Обов'язкове застосування екранування від джерел опромінення (фактор екрану).

4. Збільшення відстані від джерела опромінення (фактор відстані).

Спочатку радіаційна небезпека, асоціюючись із загрозою атомної війни, представлялася у вигляді великих доз опромінення, і більшість радіобіологів досліджували наслідки дії на організм саме великих доз. Стосовно до них і будувалася стратегія протирадіаційного захисту. Після аварії на Чорнобильській АЕС та інших, коли величезні контингенти населення опинились в умовах хронічного опромінення малими дозами, відповідно змінюється і стратегія захисту.

Важливим елементом стратегії сучасної радіаційної безпеки є встановлення перепони руху радіоактивних речовин по ланцюгу живлення. На будь-якій з ланок цього ланцюга можна встановити ефективні перепони, які зменшать перехід радіонуклідів з однієї до іншої. І чим на більш ранніх ланках ланцюга живлення це буде зроблено, тим з більшою ефективністю можна гальмувати їх рух.

При розробці заходів захисту від радіації важливо дотримуватись принципу, що порога мутагенної дії радіації не існує, тобто немає цілком безпечних доз ІВ. Із збільшенням дози опромінення імовірність виникнення стохастичних ефектів зростає лінійно. В цьому полягає суть концепції безпорогової лінійної залежності виникнення стохастичних ефектів. Відповідні коефіцієнти лінійного зв'язку між дозою опромінення людей і проявом стохастичних ефектів встановлюються Міжнародною комісією з радіаційного захисту (МКРЗ). Як правило, ці коефіцієнти виражають у виході додаткового прояву злоякісних пухлин та генетичних уражень і ступеня ризику летальних наслідків від них, віднесених до колективної еквівалентної дози, що дорівнює 104 люд.-Зв (1 млн люд.-бер). За умови додаткової дії ІВ, як одного з багатьох факторів мутагенезу, дозою 1 сЗв (1 бер) ризик виникнення злоякісних пухлин зростає на 5%, а прояв генетичних дефектів – на 0,4%.

§7.2 Принципи нормування радіаційного впливу та допустимі рівні опромінення осіб різних категорій

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

Прийнято виділяти дві основні групи радіобіологічних ефектів : не стохастичні та стохастичні.

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

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

Вважається, що порога мутагенної дії іонізуючої радіації не існує, а, отже, немає і цілком безпечних доз. Тому опромінення людей в якій завгодно малій дозі відбувається з додатковим ризиком виникнення стохастичних ефектів. Із збільшенням дози опромінення імовірність виникнення стохастичних ефектів зростає лінійно. В цьому полягає суть концепції безпорогової лінійної залежності виникнення стохастичних ефектів.

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

Ризик загибелі людей від додаткового впливу іонізуючого опромінення в таких малих дозах значно менший за ризик їх загибелі на самому безпечному виробництві. Але він є, тому дозове навантаження на організм людини суворо регламентовано. Цю функцію виконують норми радіаційної безпеки (НРБ).

НРБУ-97 (НРБ України, прийняті у 1997 р.) спрямовані на недопущення виникнення детерміністичних (соматичних) ефектів і на обмеження на прийнятому рівні виникнення стохастичних ефектів.

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

- принцип виправданості;
- принцип не перевищення;
- принцип оптимізації.

Принцип виправданості вимагає, щоб користь від вибраної людської діяльності перевищувала сумарний збиток для суспільства чи людини.

Принцип не перевищення вимагає недопущення встановлених рівнів опромінення.

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

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

Метою НРБУ-97 є визначення основних вимог до:

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

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

1. При всіх видах практичної діяльності в умовах нормативної експлуатації індустріальних та медичних джерел іонізуючого випромінювання.

2. При втручанні, яке пов'язано з опроміненням населення в умовах радіаційної аварії, а також при хронічному опроміненні за рахунок техногенно-підсилених джерел природного походження.

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

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

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

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

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

Перша група - регламенти для контролю за практичною діяльністю, метою яких є додержання опромінення персоналу та населення на прийнятному для індивідууму та суспільства рівні, а також підтримання

радіаційно-прийнятого стану навколишнього середовища та технології радіаційно-ядерних об'єктів. До цієї групи входять такі регламенти:

- ліміти доз;
- похідні рівні:
 - а) допустимі рівні
 - б) контрольні рівні.

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

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

- рівні втручання;
- рівні дії.

У межах НРБУ-97 рівень втручання – це рівень відвернутої дози опромінення, при перевищенні якої потрібно застосовувати конкретний контрзахід у разі аварійного чи хронічного опромінення.

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

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

Четверта група - регламенти щодо відвернутої внаслідок втручання дози опромінення населення від техногенно-підсилених джерел природного походження (гранітні кар'єри, будівельні матеріали, мінеральні добрива тощо). До цієї групи входять:

- рівні втручання;
- рівні дії.

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

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

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

Категорія В - усе населення України.

§7.3 Захист від іонізуючого випромінювання

Розміщення підприємств і лабораторій, призначених для роботи з радіоактивними джерелами, у житлових будинках і дитячих закладах забороняється.

Для будівництва закладів для роботи з радіоактивними джерелами необхідно вибирати території з підвітряної сторони по відношенню до населених пунктів і житлових масивів. Навкруги таких закладів повинна бути санітарно-захисна зона і зона моніторингу. Для підприємств атомної промисловості та ядерної енергетики санітарно-захисні зони встановлюються спеціальними нормативними актами. У цих зонах забороняється розміщення дитячих закладів, лікарень, санаторій та інших оздоровчих закладів.

Використання земель санітарно-захисних зон для сільськогосподарської діяльності можливе тільки з дозволу Головного санітарно-епідеміологічного управління Міністерства охорони здоров'я України.

У залежності від виду радіаційного опромінення використовують різні способи захисту. Першочерговий засіб індивідуального захисту від радіації – це скорочення часу перебування в умовах опромінення, а потім необхідно перебувати якомога на більшій відстані від джерела радіації.

У комплексі захисних заходів треба враховувати і вид випромінювання (α -, β -частинки, γ -кванти).

Захист від зовнішнього випромінювання α -частинками не потрібен, оскільки пробіг їх у повітрі становить 2,4-11 см, а у воді і тканинах живого організму – лише 100 мк. Спецодяг повністю захищає від них.

При зовнішньому опроміненні β -частинки впливають на шкіряний покрив та роговицю очей і у великих дозах викликають сухість й опіки шкіри, ламкість нігтів, катаракту. Для захисту від потоків β -частинок використовують гумові рукавиці, окуляри і екрани, що виготовлені з матеріалів з малою атомною питомою масою (органічне скло, пластмаси, алюміній). У разі особливо потужних потоків β -частинок слід використовувати додаткові екрани, призначені для захисту від гальмівного рентгенівського випромінювання: фартухи і рукавиці із просвинцьованої гуми, просвинцьоване скло, ширми, бокси тощо.

Захист від зовнішнього γ -випромінювання може забезпечуватись скороченням часу безпосередньої роботи з джерелами випромінювання, застосуванням захисних екранів, що поглинають випромінювання, збільшенням відстані від джерела та використанням для роботи джерел з мінімально можливим виходом іонізуючого випромінювання. Захист шляхом скорочення часу безпосередньої роботи з джерелами фотонного

випромінення досягається швидкістю маніпуляцій з препаратом, скороченням тривалості робочого дня і робочого тижня.

При захисті від γ -опромінення використовують екрани з металів з великою атомною масою, наприклад, свинець, чавун тощо. За своїм призначенням захисні екрани можуть бути умовно поділені на 5 груп:

1) захисні екрани - контейнери, в яких розміщуються радіоактивні препарати. Головне призначення таких екранів - зберігання радіоактивних препаратів у неробочому стані;

2) захисні екрани для обладнання. В цьому разі екрани повністю оточують усе робоче обладнання при положенні радіоактивного препарату в робочому стані або при включенні високої (або прискорюючої) напруги на джерела ІВ;

3) захисні екрани, що монтуються як частини будівельних конструкцій (стіни, перекриття підлоги та стелі, спеціальні двері). Такий вид захисних

екранів призначений для захисту приміщень, в яких постійно знаходиться персонал, та прилягаючі території;

4) пересувні захисні екрани. Цей тип захисних екранів використовується для захисту робочого місця на різних ділянках робочої зони тощо;

5) екрани індивідуальних засобів захисту (щиток із оргскла, скло пневмокостюмів, просвинцьовані рукавиці та ін.).

Основні принципи попередження внутрішнього опромінення організму, що виникає при роботі з відкритими джерелами, базуються на використанні засобів захисту, які використовуються при роботі зі закритими джерелами випромінювання, а також здійснюється герметизація виробничого обладнання для запобігання забруднення приміщень лабораторії та навколишнього середовища.

Застосовуються санітарно-технічні пристрої і спеціальне обладнання, використовуються спеціальні захисні матеріали, засоби індивідуального захисту. Виконуються правила особистої гігієни, проводиться дезактивація приміщень, апаратури та засобів індивідуального захисту.

Всі засоби захисту можна застосовувати окремо або в різних комбінаціях, але так, щоб дози зовнішнього фотонного опромінення осіб категорії А не перевищували 7 МП/день і 0,04 Р/тиждень.

За певних умов радіаційної небезпеки здійснюють наступне;

- перебувають у житлових приміщеннях або спеціальних сховищах;
- захищають приміщення від проникнення радіації (закривають вікна, відключають приточну вентиляцію, перекривають крани водопостачання;

- роблять запаси питної води в спеціальних закритих ємностях;

- здійснюють щоденне вологе вбирання приміщень з використанням мильних розчинів;

- проводять йодну профілактику (йодистий калій застосовують після їжі з чаєм три рази протягом дня дорослим по 3-5 капель на склянку, дітям віком до двох років по 1-2 каплі 5% настою на склянку молока).

При радіаційному ураженні потрібно використовувати консервовані або заздалегідь заготовлені продукти, не споживати воду з відкритих джерел, уникати тривалих пересувань по забрудненій території.

Заклади, де ведуться роботи з радіоактивними речовинами у відкритому вигляді, повинні мати свою систему водопроводу і каналізації. Система спеціальної каналізації повинна передбачати дезактивацію стічних вод. Очисні споруди необхідно розміщувати на території цього закладу.

§7.4 Види радіаційних аварій та їх класифікація

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

Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи:

а) аварії, які не супроводжуються радіоактивним забрудненням виробничих приміщень, промайданчика об'єкта та навколишнього середовища;

б) аварії, в результаті яких відбувається розгерметизація закритих джерел і радіоактивне забруднення середовища виробничої діяльності та проживання людей.

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

- промислові;
- комунальні.

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

До класу комунальних аварій належать такі, наслідки яких поширюються як на територію об'єкта, так і на оточуючі території, де проживає населення.

Комунальні радіаційні аварії поділяють на:

а) локальні, якщо в зоні аварії проживає населення загальною чисельністю до 10 тисяч чоловік;

б) регіональні - території населених пунктів, адміністративних районів, областей, де чисельність населення перевищує 10 тисяч чоловік;

в) глобальні - аварії, в результаті яких значна частина, або вся територія країни і її населення зазнає негативного впливу.

У розвитку комунальних аварій виділяють три основні часові фази:

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

Контрольні запитання

1. Визначте основні принципи радіаційної безпеки людини.
2. Вкажіть зони розподілу території, де працюють з джерелами радіації.
3. Перечислити категорії осіб, які опромінюються.
4. Обґрунтуйте поняття про гранично допустиму дозу.
5. Охарактеризуйте такі параметри, як: ефект часу, кількості, відстані, екрану.
6. Що означає "Шар половинного ослаблення опромінення"?

РОЗДІЛ VIII

ВИПРОБУВАННЯ ЯДЕРНОЇ ЗБРОЇ

§8.1 Поняття про атомну зброю

Ядерна зброя — зброя масового ураження вибухової дії, побудована на використанні ядерної енергії, що вивільняється при ланцюговій ядерній реакції розщеплення важких ядер й/або термоядерній реакції синтезу легких ядер.

Поняття ядерна зброя містить у собі:

- власне ядерні заряди (бойові частини ракет і торпед, бомб, артилерійські снаряди тощо)
- засоби їх доставки до цілі (ракети, літаки, торпеди, артилерійські гармати тощо)
- засоби управління.

Ядерна зброя істотно відрізняється від інших видів озброєння як масштабами, так і характером ураження. На відстані близько кілометра від центра вибуху відбуваються суцільні руйнування та знищується все живе поза укриттями. Перш за все така дія зумовлена тим, що потужність ядерного вибуху набагато більша, ніж будь-яких боєприпасів, створеного на основі хімічної вибухівки.

Потужність ядерних вибухів вимірюють у т.зв. тротиловому еквіваленті — вага тринітротолуолу (ТНТ), вибух якого призводить до вивільнення еквівалентної енергії. Навіть найменші ядерні заряди мають потужність вибуху близько 1 кілотонни (тобто тисячу тонн тротилу). Створення такого заряду зі звичайної вибухівки практично неможливо.

При підриві ядерних боєприпасів відбувається ядерний вибух, що уражають факторами якого є:

- ударна хвиля
- світлове випромінювання
- проникна радіація
- радіоактивне зараження
- електромагнітний імпульс (ЕМІ)
- рентгенівське випромінювання

Люди, які безпосередньо піддалися впливу вражаючих факторів ядерного вибуху, крім фізичних ушкоджень, зазнають потужний психологічний вплив від жахаючого вигляду картини вибуху й руйнувань. Електромагнітний імпульс безпосереднього впливу на живі організми не робить, але може порушити роботу електронної апаратури.

Радіологічні наслідки випробувань ядерної зброї визначаються кількістю випробувань, сумарними енерговиділенням і активність осколків розпаду, видами вибухів (повітряні, наземні, підводні, надводні, підземні)

та геофізичними факторами навколишнього середовища в період випробувань (район, міграція радіонуклідів та ін). Випробування ядерної зброї, які особливо інтенсивно проводилися в період 1954-1958 і 1961-1962 рр. стали однією з основних причин підвищення радіаційного фону Землі і, як наслідок цього, глобального підвищення доз зовнішнього та внутрішнього опромінення населення.

У США, СРСР, Франції, Великобританії та Китаї в цілому проведено не менше 2060 випробувань атомних і термоядерних зарядів в атмосфері, під водою і в надрах Землі, з них безпосередньо в атмосфері 501 випробування. Випробування в атмосфері в СРСР були завершені в 1962 р., підземні вибухи на Семіпалатинському полігоні - в 1989 р., на Північному полігоні - в 1990 р. Франція і Китай до останнього часу продовжували випробовувати ядерну зброю. За оцінками у другій половині 20-го століття за рахунок ядерних випробувань у зовнішню середу поступило $1.81 \cdot 10^{21}$ Бк продуктів ядерного поділу (ПЯД), з них на частку атмосферних випробувань доводиться 99.84 %. Поширення радіонуклідів прийняло планетарні масштаби (рис.8.1).

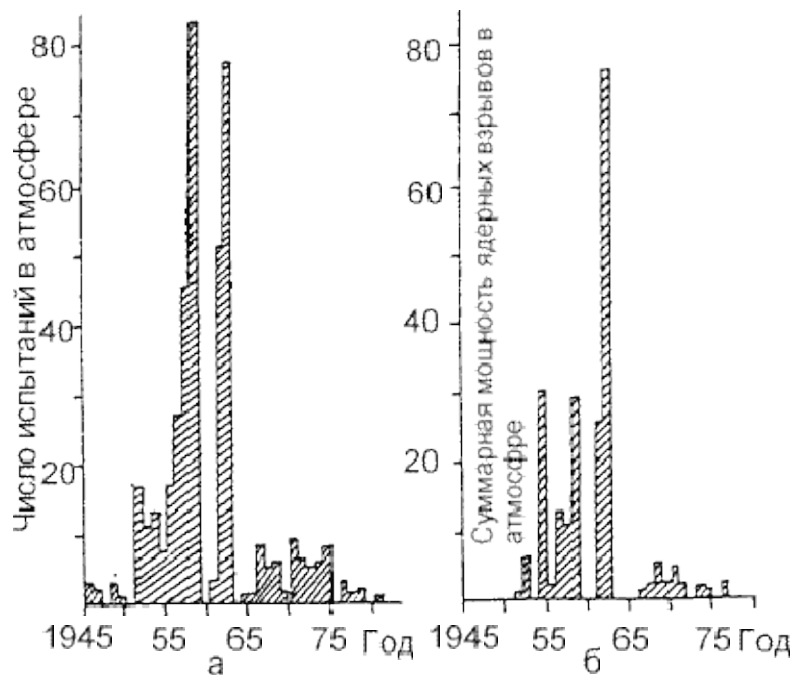


Рисунок 8.1 Дані по ядерних випробувань в атмосфері:
 а) число випробувань в атмосфері;
 б) сумарна потужність ядерних вибухів за рік в мегатоннах.

§ 8.2 Продукти ядерного поділу та наслідки ядерних вибухів

Продукти ядерного поділу (ПЯД) являють собою складну суміш більш ніж 200 радіоактивних ізотопів 36 елементів (від цинку до гадолінію). Більшу частину активності складають короткоживучі радіонукліди. Так, через 7, через 49 і через 343 доби після вибуху активність ПЯД знижується відповідно в 10, 100 і 1000 разів порівняно з активністю через годину після вибуху. Вихід найбільш біологічно значущих радіонуклідів наведено в таблиці 8.1. Крім ПЯД радіоактивне забруднення зумовлене радіонуклідами наведеної активності і не поділеною частиною урану і плутонію. Особливо велика роль наведеної активності при термоядерних вибухах.

При ядерних вибухах в атмосфері значна частина опадів (при наземних вибухах до 50%) випадає поблизу району випробувань. Частина радіоактивних речовин затримується в нижній частині атмосфери і під дією вітру переміщується на великі відстані, залишаючись приблизно на одній і тій же широті. Перебуваючи в повітрі близько місяця, радіоактивні речовини під час цього переміщення поступово випадають на Землю. Більша частина радіонуклідів викидається в стратосферу (на висоту 10-15 км), де відбувається їх глобальне розсіювання і в значній мірі розпад. Не розпалися радіонукліди випадають по всій поверхні Землі. Дози опромінення населення від глобальних випадінь незначні (таб.8.2).

Таблиця 8.1 Вихід найбільш біологічно значущих радіонуклідів

Вихід деяких продуктів ділення при ядерному вибуху				
Елемент	Заряд	Період напіврозпаду	Вихід на одну поділку, %	Активність на 1 Мт, (10^{15} Бк)
Стронцій-89	38	50.5 діб	2.56	590
Стронцій-90	38	28.6 років	3.5	3.9
Цирконій-95	40	64 доби	5.07	920
Рутеній-103	44	39.5 діб	5.2	1500
Рутеній-106	44	368 діб	2.44	78
Йод-131	53	8 діб	2.90	4200
Цезій-136	55	132.2 доби	0.036	32
Цезій-137	55	30.2 роки	5.57	5.9
Барій-140	56	12.8 діб	5.18	4700
Церій-141	58	32.5 діб	4.58	1600
Церій-144	58	284 доби	4.69	190

Таблиця 8.2 Дози опромінення населення від глобальних випадінь на рік

Дози опромінення населення від глобальних випадінь на рік				
Зона	Індивідуальна очікувана доза, мЗв	Вклади окремих видів опромінення, %		
		Зовнішнє	внутрішнє	
			їжа	повітря
Помірний пояс Північної півкулі	4.5	24	71	5
Помірний пояс Південної півкулі	3.1	8	90	2
Земна куля	3.8	18	79	3

Річні дози опромінення населення корелюють з частотою випробувань. Так, у 1963 році колективна середньорічна доза, пов'язана з ядерними випробуваннями, склала 7% дози опромінення від природних джерел. До 1966 році вона знизилася до 2%, а до початку 80-их років зменшилася до 1%.

Контрольні запитання

1. Дати поняття ядерної зброї.
2. Які ви знаєте фактори ураження при ядерних вибухах?
3. Перелічити радіологічні наслідки випробувань ядерної зброї.
4. Які можуть бути продукти ядерного поділу?

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

А

Активність – 25

Альфа- випромінювання - 29

Атом – 16

Б

Бета- випромінювання – 30

В

Відкриті джерела іонізуючих випромінювань - 22

Внутрішнє опромінення – 36

Г

Гальмівне випромінювання -28

Гамма-випромінювання – 28

Д

Деактивація -83

Дозиметрія – 35

Е

Експозиційна доза фотонного випромінювання – 36

Еквівалентна доза -39

Електронні іонізуючі випромінювання – 12

Електромагнітне (фотонне) випромінювання – 24

З

Зовнішнє опромінення – 36

І

Іонізуюче випромінювання – 26, 89

К

Керма – 38

Коллективна доза - 41

Космічне випромінювання – 24

Корпускулярне випромінювання - 24

Л

Ліміти дози - 43

Лічильник Гейгера – Мюллера – 33

Н

Нейтрони -31

Непряма радіація – 21

Нукліди - 18

О

Опромінення – 36

П

Поглинена лоза – 38

Потужність експозиційної дози – 37

Потужність поглиненої дози -38
Поширення радіонуклідів – 69
Природне джерела радіації – 21, 26
Природний радіаційний фон – 23
Продукти ядерного поділу – 94
Пряма радіація - 21
Р
Радіація – 12
Радіоактивність – 15, 18
Радіобіологія – 7
Радіоекологія – 7
Радіаційна медицина – 78, 79
Радіаційна безпека - 87
Радіометри - 46
Радіаційний зважуючий фактор – 39
Річна ефективна доза -44
Рентген – 37
Рентгенівське випромінювання -28
Референтний вік -44
С
Сцинтиляційний лічильник -34
Т
Тканий зважувальний фактор – 40
Ш
Штучні джерела радіації – 21, 26
Я
Ядерна зброя – 94
Ядерні вибухи - 94

ЛІТЕРАТУРА

1. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97) ДГН 6.6.1-6.5.001-98.- Київ: МЗУ, 1998.- 135 с.
2. Герасимов О.І., Кальян А.М. Елементи фізики довкілля: Конспект лекцій. - Одеса: ОДЕКУ, 2003.
3. Герасимов О.І. Основи радіаційної безпеки. Конспект лекцій. - Одеса, ОДЕКУ, 2014.-65 с.
4. Ю.О. Кухлахмедов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер. Основи радіоекології : навч. Посіб.- К.:Вища шк., 2003.- 319 с.
5. Є.А. Іванов . Радіоекологічні дослідження: Навч. посібник.- Львов: Видавничий центр ЛНУ ім. Івана Франка , 2004.- 149 с.
6. А.С. Соболев. Система охорони здоров'я та безпеки робітників агропромислового комплексу в умовах радіоактивного забруднення території: Навч. посібник .- К.: ПДО НУХТ, 2005- 67 с.
7. Літнарівич Р.М. Біофізика. Медична фізика, теоретична і прикладна фізика. МЕНУ, Рівне: 2011. - с.
8. Давиденко В. М. Радіобіологія / В.М. Давиденко – Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. – 265 с.
9. Основи радіаційної медицини: Навч. посібник / О. П. Овчаренко, А. П. Лазар, Р. П. Матюшко. — Одеса: Одес. держ. мед. ун-т, 2002. — 208 с. — (Б-ка студента-медика).
- 10.В.О. Кіцно, С.В. Поліщук, І.М. Гудков Основи радіобіології та радіоекології: Навч. посіб. 3-те видання. – К.:»Хай-Тек Прес», 2010.- 320 с.

Навчальне видання

Герасимов Олег Іванович

Радіоекологія за галузями
Підручник

Підписано до друку
Формат 60*84/16 папір офс
Тираж 100
Друкується з готового оригінал-макета

Одеський державний екологічний університет
65016, Одеса, вул. Львівська, 15
