

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гроза Варвара Ігорівна

РАДІОБІОЛОГІЯ

Курс лекцій



МИКОЛАЇВ
2018

Автор: Гроза Варвара Ігорівна

Друкується за рішенням науково-методичної комісії факультету технології виробництва і переробки продукції тваринництва, стандартизації та біотехнології Миколаївського національного аграрного університету від 21. 12. 2017 р., протокол №4.

Рецензенти:

Л. С. Патрева – д-р с.-г. наук, професор, завідувач кафедри птахівництва, якості та безпечності продукції Миколаївського національного аграрного університету;

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

Гроза В. І.

P15 Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. – Миколаїв : МНАУ, 2018. – 103 с.

У курсі лекцій викладено відомості про дію іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти, про всі види іонізуючого випромінювання на живі організми.

УДК 577.43

©Миколаївський національний аграрний університет, 2018
Гроза В.І., 2018

ЗМІСТ

Тема 1. Введення в дисципліну	5
1. Радіобіологія та основні етапи розвитку.	5
2. Предмет, задачі та методи дослідження радіобіології.	7
3. Історія науки та внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології	11
Тема 2. Фізичні основи радіобіології	17
1. Радіоактивність та одиниці її вимірювання	17
2. Основні види доз іонізуючих випромінювань	19
Тема 3. Радіометрія	22
1. Радіометрія	22
2. Апаратура для дозиметрії та радіометрії	24
Тема 4. Біологічна дія іонізуючого випромінювання	37
1. Реєстрація іонізуючих випромінювань.	37
2. Захист від іонізуючого випромінювання.	44
Тема 5. Радіобіологічні ефекти і післярадіаційне випробування організму	48
1. Біологічна дія різних видів радіації. Закон Бергоньє-Трибонто	48
2. Модифікація радіобіологічних ефектів	51
3. Дія малих доз іонізуючого випромінювання	52
4. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах	56
Тема 6. Радіаційна безпека і захист	58
1. Принципи радіаційної безпеки.	58
2. Протирадіаційні засоби	61
Тема 7. Атомна енергетика та її вплив на довкілля	65
1. Виробництво ядерної енергії	65
2. Міжнародна шкала подій на АЕС	68
3. Особливості аварій на АЕС	69
Тема 8. Поводження з радіоактивними відходами	77
1. Нормативна документація	77
2. Накопичення РАВ	80
3. Державне об'єднання з поведження з радіоактивними відходами	82
4. Утилізація РАВ	85
Тема 9. Сучасна радіаційна ситуація в Україні	89
1. Радіаційна ситуація в Україні	89

2.	Основні завдання служби	93
Тема 10.	Джерела радіаційного забруднення навколишнього середовища	95
1.	Природні джерела випромінювання	95
2.	Штучні джерела випромінювання	99

Тема 1

ВВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ

- 1. Радіобіологія та основні етапи розвитку.**
- 2. Предмет, задачі та методи дослідження радіобіології.**
- 3. Історія науки та внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології**

1. Радіобіологія та основні етапи розвитку

Радіобіологія – це самостійна комплексна, фундаментальна наука, яка складається із багатьох наукових напрямів, що вивчають дію іонізуючого випромінювання на біологічні об'єкти; це наука про дію всіх видів іонізуючого випромінювання на живі організми, починаючи з біологічно важливих макромолекул, бактеріофагів, вірусів і кінчаючи високоорганізованими організмами, популяціями, їх угрупованнями (біоценозами) і біосферою в цілому, що сформувалася в першій половині ХХ століття. З метою вивчення видоспецифічності дії іонізуючої радіації на організми різних рівнів організації виділяють радіаційну вірусологію, радіаційну мікробіологію, радіобіологію найпростіших, радіобіологію безхребетних, радіобіологію комах, радіобіологію рослин, радіобіологію тварин тощо.

Сьогодні можна виділити такі етапи розвитку радіобіології:

I-й етап – з 1881 до 1920 років - виявлення катодного випромінювання І.П. Пулюєм і демонстрація на Міжнародній електротехнічній виставці в Парижі “лампа Пулюя”, за яку він одержав срібну медаль, вивчення вражаючої дії радіації на різні системи організму; пізнання природи і сутті радіації; вивчення радіоактивного гальмування поділу клітин; встановлення вражаючої дії радіації на субклітинні елементи, клітини, тканини. Найбільш яскраві представники вчених першого періоду: І. Пулюй, П. Кюрі, М. Складовська-Кюрі, А. Бекерель, К. Рентген, Н. Бор, Н. Тесла, Е. Лондон, І. Тарханов та інші.

II-й етап – починаючи з 1920 до 1945 років – розвиток дозиметрії, вивчення зв'язку між дозою і ефектом, розробка атомної бомби; вивчення впливу радіації на живі системи у залежності від її дози та якості; розробка заходів захисту і лікування від радіації.

Найбільш яскраві представники вчених другого періоду Ф. Дессауер, Л. Грей, М.В. Тимофєєв-Рясовський, Д. Ли та інші.

III-й етап починається з 1945 до 1986 років – вивчення впливу радіації на навколишнє середовище, розробка методів використання радіації в науці, промисловості, сільському господарстві, медицині, досліджуються враження радіацією соматичних та генеративних клітин, розвиток атомної енергетики до Чорнобильської аварії тощо.

IV-й етап – починається з аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році і триває до нині.

Окрім того, у розвитку радіології, радіобіології, радіоекології можна виділити три періоди, що поперемінно чергуються – це радіоейфорія (необґрунтованого захоплення радіації), радіофобія (патологічної боязні всього, що пов'язане з радіацією) та радіоамнезія (забуття про переоцінку і тяжкі наслідки впливу радіації на людину і довкілля).

Радіобіологія межує з науками, які досліджують дію електромагнітних хвиль, інфрачервоних, видимих і ультрафіолетових променів і радіохвиль міліметрового і сантиметрового діапазонів. Специфіка радіобіології обумовлена великою енергією квантів і частинок (альфа-частинок, електронів, протонів, позитронів, нейтронів тощо), які значно перевищують енергію молекул органічних речовин, а також здатністю частинок проникати в глибину (всередину) об'єкту, діючи на всі його структури.

Радіобіологія досліджує механізми впливу іонізуючого випромінювання на біополімери (нуклеїнові кислоти й білки), надмолекулярні структури (хроматин, біологічні мембрани), віруси, бактеріофаги, клітинні органели, клітини, тканини, органи та цілі організми, а також на угруповання організмів (біоценози) і на всю біосферу.

Радіобіологія пов'язана з фізикою (радіаційна фізика) і біофізикою (радіаційна біофізика), з хімією і біохімією. Радіобіологія межує з молекулярною радіобіологією, радіаційною цитологією, радіаційною екологією. Залежно від об'єктів дослідження розрізняють радіаційну мікробіологію, радіаційну гістологію, радіаційну ембріологію, радіаційну генетику, радіобіологію тварин і рослин, радіобіологію нервової системи, медичну радіобіологію тощо.

Одже, це комплексна, мультидисциплінарна галузь знань, що складається з окремих напрямів. У залежності від рівня дослідження

живих систем здійснювалась і структуризація загальної радіобіології: молекулярна радіобіологія, циторадіобіологія, гісторадіобіологія, радіобіологія генетики, радіобіологія рослин і тварин тощо. Автономність окремих напрямів і розділів радіобіології є умовною. Всі вони тісно пов'язані між собою і об'єднуються узагальненою теорією – загальною радіобіологією.

Відкриття в галузі радіобіології (наприклад, радіаційного мутагенезу, ферментів, що сприяють репарації радіаційного ураження ДНК та інші) сприяють розвитку знань про загальні закономірності життя. Вивчення радіації дозволяє глибше розуміти фотосинтез. З світловим випромінюванням пов'язані інформаційні і регуляторні реакції організмів (зір у тварин, фототаксис, фото призм, фотоперіодизм тощо). В оптимальних дозах радіація Сонця, що проникає на Землю впливає на ріст і розвиток рослин і тварин, обмін речовин, утворення вітаміну Д, підвищує резистентність організмів. Іонізуюча космічна радіація відхиляється магнітним полем Землі, певною мірою поглинається верхніми шарами атмосфери і тільки незначна її кількість досягає поверхні Землі, створюючи біля 30% природної радіації. Решта 70% обумовлена альфа-, бета- і гамма-випромінюванням радіоактивних елементів – теорія, урана, радія, і продуктів їх розпаду (радон та інші), знаходиться в розсіяному вигляді в земних породах, ґрунті, воді, атмосфері. Радіобіологія нині має важливе світоглядницьке, методологічне і методичне значення. Вона виконує теоретико-пізнавальну функцію, значною мірою визначає рівень і напрями науково-технічного прогресу.

2. Предмет, задачі й методи дослідження радіобіології

У залежності від рівнів організації життя основними об'єктами дослідження радіобіології є наступні: екологічні системи, популяції, організми, органи, тканини; клітини, клітинні органоїди, біологічні мембрани; макромолекули і “малі” молекули.

Основними фундаментальними задачами радіобіології є наступне:

- дослідження радіаційного ураження організмів за умови їх тотального опромінення;
- пізнання загальних закономірностей біологічної відповіді на дію іонізуючого опромінення, пізнання причин різної радіочутливості організмів і радіобіологічного парадоксу;
- керування радіобіологічними ефектами;

- пошуки різних способів захисту організмів від опромінення;
- пошуки способів і шляхів після радіаційного відновлення від ураження;
- прогнозування небезпеки для людства рівня радіації довкілля, що підвищується;
- пошуки нових шляхів використання іонізуючого випромінювання в медицині, сільському господарстві, харчовій і мікробіологічній промисловості тощо.

Об'єктом радіобіологічних досліджень є людина, тварини, рослини, мікроорганізми, макромолекули, окремі структури клітини, процеси метаболізму тощо. Радіобіологія вивчає міграцію радіонуклідів, дію радіації на довкілля, закономірності і шляхи переходу радіонуклідів з одного природного комплексу до іншого.

Предметом дослідження радіобіології є молекули, віруси, мікроорганізми, найпростіші, рослини, тварини, людина, біоценози, агроценози, інші екосистеми та процеси, що в них відбуваються під впливом іонізуючого випромінювання.

Відповідно до рівнів досліджуваних систем у радіобіології виділяються розділи, які тією чи іншою мірою є самостійними науками із властивими для них методологією і методиками досліджень, системою понять і логікою теоретичного аналізу досліджуваних явищ. До першої групи розділів відносять біофізику, радіохімію, радіо біохімію, радіомембранологію, циторадіологію, популяційна радіо генетика тощо. А до другої групи розділів відносять ті, що досліджують радіобіологічні реакції організмів.

Задачею курсу є наступне:

- дослідження шляхів міграції і дії інкорпорованих (тих, що поглинуті організмами рослин, тварин, людини) радіонуклідів;
- розробка заходів, що попереджують накопичення радіонуклідів в організмі;
- встановлення стійкості (толерантності) рослин і тварин до іонізуючого опромінювання;
- виявлення можливостей використання іонізуючого випромінювання в науці, біології, медицині, ветеринарній медицині, гігієні, хроногеології, сільському господарстві тощо;
- вивчення впливу радіації на мікроорганізми;
- вивчення впливу радіації на біоту;
- вивчення впливу радіації на імунну систему людини і тварин;

- розробка заходів захисту від радіації, техніки безпеки при роботі в умовах підвищеного рівня радіації;

Мета курсу, головним чином, полягає в наступному:

- ознайомити студентів із суттю радіації, предметом радіобіології, формами впливу іонізуючого випромінювання на живі системи різного рівня організації;

- ознайомити студентів з технікою безпеки при роботі з радіоактивними речовинами та іншими джерелами іонізуючого випромінювання;

- ознайомити з основами дозиметрії і радіометрії;

- ознайомити з деякими реакціями живих організмів на опромінення;

- ознайомити із заходами захисту і безпеки всього живого від радіації тощо.

Основні теоретичні аспекти радіобіології є такі:

- теорія точкового нагріву;

- теорія попадання або мішені;

- детерміністичні ефекти;

- стохастичні ефекти;

- теорія вільних радикалів;

- теорія ліпідних радикалів;

- структурно-метаболична теорія.

Важливість цих питань обумовлена тим, що, наприклад, тільки у результаті аварії на Чорнобильській АЕС радіаційно забрудненими стали величезні території України, Білорусії, Росії. Тому виникла необхідність проведення постійного радіометричного контролю (моніторингу) різних об'єктів і, у першу чергу, рослин і тварин. По-друге, в наш час все ширше впроваджуються технології, де досить широко використовується іонізуюче випромінювання та радіоактивні речовини: військова техніка, авіація, флот, медицина, наука, селекція, імунологія, промисловість, рентген- та комп'ютерна техніка, побут тощо.

Дослідження в радіобіології спочатку зводились до постановки гіпотез і логічного (а не експериментального) їх обґрунтування. Цей метод у науці одержав назву "чорного ящика". Потім він переростав у метод "проб і помилок". Хоча паралельно з цим методом вже на початку ХХ століття зароджується і експериментальний метод. Так, у 1906 році французькі вчені досліджують репродуктивну функцію опромінених щурів.

У радіобіології широко застосовується метод безперервного моніторингу за навколишнім середовищем, біосферою, світом рослин і тварин, ґрунтом і водоймами тощо. Широко застосовуються фізичні, хімічні, біологічні та комплексні методи дослідження. Окрім того, постійно використовуються такі методи, як ізотопних індикаторів, груп (контрольної-дослідної), радіометрії (абсолютний, розрахунковий, відносний, експрес-метод), авторыдіографії, експрес-аналіз, телеметрії, комп'ютерної обробки, біометрії, індукованого мутагенезу. Досить часто застосовують логічно-віртуально-символічний та метод моделювання, тобто створюються логічні імітаційні схеми та моделі, які є дуже близькі до реальних. За певних умов і поставленої задачі дослідження застосовують цитологічні, гістологічні, фізіологічні і морфологічні та інші методи. Для визначення механізмів радіаційно-хімічних реакцій застосовують методи досліджень, які дозволяють виявлення первинних хімічних форм, що виникають внаслідок поглинання енергії іонізуючих випромінювань, а також дають змогу вивчати природу вільно радикальних станів молекул, реєструвати проміжні продукти радіаційно-хімічних перетворень із дуже коротким періодом існування, кількісно оцінювати кінетику швидкоплинних реакцій. Найчастіше використовують методи спектроскопії, імпульсного фотолізу (радіолізу) тощо.

У радіобіології і інших галузях науки широко застосовується метод ізотопних індикаторів (мічених атомів). Ізотопні індикатори – це ізотопи, які за масою відрізняються від атомів елемента, можуть бути використані в якості індикатора при вивченні різноманітних процесів його розподілу, переміщення і перетворення у складі різних речовин у різноманітних складних системах, у тому числі живих організмах.

Метод ізотопних індикаторів базується на двох основних положеннях:

- 1) хімічні властивості різних ізотопів одного елемента практично однакові, тому їх поведінка в процесах, що вивчаються, не відрізняється від поведінки інших атомів того ж елемента;
- 2) радіоактивні ізотопи повинні використовуватись у таких дозах, котрі не повинні здійснювати біологічної дії на організми, які вивчають.

Використання в дослідженнях радіоактивних ізотопів вимагає дотримання техніки безпеки, постійно здійснювати контроль рівня

радіаційного забруднення в лабораторіях, де проводяться такі дослідження.

3. Історія науки та внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології

Зародження радіобіології зобов'язано трьома визначними відкриттями кінця XIX століття:

- відкриття радіації [І. Пулюй (1881), К. Рентген (1895)];
- відкриття природної радіоактивності – “уранові промені” (А. Беккерель);
- відкриття радіоактивних властивостей полонія і радія (М. Склодовська-Кюрі, П. Кюрі, Е. Резерфорд, Н. Бор, Ф. Содді).

За ці відкриття ці вчені, окрім І. Пулюя, одержали Нобелівську премію – Рентген у 1901 році, а М. Склодовська-Кюрі, П.Кюрі та А.Беккерель – у 1903 році.

Радіобіологія – порівняно молода наука, її вік сягає до 130 років. Іван Павлович Пулюй (2.02.1845 – 31.01.1918) (рис.1.). У 1881 році на Міжнародній електротехнічній виставці демонструє лампу (трубку) Пулюя, за яку був нагороджений срібною медаллю цієї виставки. З допомогою цієї катодної трубки, яка випромінювала невідомі промені Пулюй зафотографував зломану руку 13-ти річного хлопця, руку своєї дочки, скелет мертвого хлопчика. Основним колом його наукових інтересів завжди була фізика

В енциклопедіях з фізики подаються два його винаходи, які були відзначені медалями Міжнародних виставок у Парижі (1878, 1881) – прилад для вимірювання механічного еквівалента тепла та лампа Пулюя (вакуумна трубка, в якій під дією катодних променів на окисли або сульфід кальцію, магнію, стронцію, барію виникали, окрім видимого випромінювання, також промені невидимі, які запатентував у листопаді 1895 року Вільгельм Конрад Рентген.

Отже, Рентген невідомі х-промені виявив у листопаді 1895 року, а І. Пулюй їх досліджував і мав практичні розробки на 14 років раніше.

Антуан Анрі Беккерель (1852-1908) працював у галузі електромагнітизму, оптики, фото- і електрохімії, метеорології, у 35 років захистив докторську дисертацію, у 40 років став професором. Зібрав багату колекцію хімічних речовин і мінералів, які світяться. На засіданні Паризької академії наук 4 лютого 1896 року Анрі Беккерель

зробив повідомлення про відкриття ним раніше невідомого випромінювання уранових солей, здатних проникати через непрозорі предмети і викликати почорніння фотоплівки.

Він відкрив і досліджував природну радіацію солей урану. За ці дослідження одержав у 1903 році Нобелівську премію.

Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923) досліджував фізику, електромагнітизм, пружність та піроелектричні властивості кристалів, діелектричну проникливість рідин, магнітні поля зарядів, що рухаються. У 1895 році вивчав випромінювання з довжиною хвилі більш короткою, ніж хвилі ультрафіолетових променів (х-промені). Ці промені проникають через папір, деревину, ебоніт, тонкі шари металів, але значною мірою затримуються свинцем. З використанням х-променів він сфотографував долоню руки. Ці промені не відхиляються в магнітному полі, отже вони не мають заряду.

Дослідження х-променів привели до відкриття електрона. Запропонував трубку для одержання х-променів. Провів експерименти по створенню магнітного поля зарядом, що рухається. У 1901 році йому була присуджена Нобелівська премія в галузі фізики.

П'єр Кюрі (1859-1906) – народився в Парижі (Франція) в сім'ї лікаря. У 1880 році, разом зі своїм старшим братом Жаком Кюрі відкрили і досліджували п'єзо-електрику, проводив дослідження магнетизму (основний закон Кюрі), симетрію кристалів, виготовив ультра чутливі ваги для наукових досліджень. У 1898 році, разом з Марією Склодовською-Кюрі, відкрив полоній і радій; досліджував радіоактивне випромінювання; ввів термін “радіоактивність”. У своїй Нобелівській лекції в 1905 році П. Кюрі вказував на потенційну небезпеку, яку представляють радіоактивні речовини, якщо вони потраплять не в ті руки, що він належить до числа тих, хто разом з Нобелем вважає, що нові відкриття принесуть людству більше бід, ніж добра. Відноситься до когорти вчених-мучеників, які померли від променевої хвороби (П'єр Кюрі тяжко хворів, але трагічно загинув у наслідок наїзду кінної фури).

Марія Складовська-Кюрі (1867-1934) – народилась у Варшаві в сім'ї вчителя фізики і математики. Ще в юному віці працювала лаборантом у хімічній лабораторії свого двоюрідного брата. Д.І. Менделєєв (товариш батька Марії), спостерігаючи за її роботою в лабораторії передбачив їй велике майбутнє, якщо вона буде продовжувати займатися хімією. Марія Складовська - видатний фізик

і хімік, яскравий приклад того, що жінка може займатися серйозною наукою. Їй належить відкриття хімічних елементів Радію, Полонію (так назвали на честь батьківщини Марії – Польщі). Полоній мав у 400 разів вищу радіоактивність, ніж уран. А радіоактивність радію у 900 разів вища, ніж урану.

У 1903 році Марія Кюрі, П'єр Кюрі та Антуан Анрі Беккерель були удостоєні Нобелівської премії у галузі радіаційної фізики за відкриття явища радіоактивності. У 1911 році Марія Кюрі одержала ще одну Нобелівську премію, на цей раз у галузі хімії. Марія Кюрі – перший в історії лауреат Нобелівської премії, до того – дворазовий. Марії Склодовській-Кюрі було присуджено 10 премій та 16 медалей. Вона була обрана членом 106 різних наукових установ, академій та товариств. Такого визнання, слави і популярності немала жодна жінка ХХ століття. У роки війни 1914-1918 Марія Кюрі розробила технологію радіологічної лабораторії на автомобілі для проведення рентгенологічної діагностики в польових умовах. Під її керівництвом і безпосередньою участю було облаштовано 20 автомобільних і 100 стаціонарних радіологічних лабораторій для обслуговування військових госпіталів. Марія Кюрі першою в історії вищої школи Франції була обрана у 1906 році професором Сорбони, завідувачем кафедри фізики і читала курс “Радіоактивність”. У наслідок тривалого опромінення Марія Кюрі хворіла нирками, катарактою очей, сомнабулізмом (людина може вночі вставати з постелі і неосвідомлено ходити по квартирі), злюкисною гострою анемією, від якої померла у 1934 році.

Ернест Розенфорд (1871-1937) – англійський фізик, засновник ядерної фізики, у 1906 році одержав Нобелівську премію в галузі хімії.

Лондон Ю.С. (1869-1939) – російський патфізіолог, біохімік, радіобіолог.

В Росії вплив іонізуючого випромінювання на живі організми вивчав Е.С. Лондон. У 1903 році він виявив летальну дію на мишей опромінення радієм. Е.С. Лондон і лікар С.В. Гольдберг проводили експериментальні дослідження дії радіації на собі. Вони встановили, що радіація уражає не тільки шкіру, але і внутрішні органи та тварини. У наступні роки було виявлено, що радіація призводить до зміни біохімічних процесів: порушення активності ферментів, поява токсичних речовин тощо. Поступово накопичуються спостереження

про радіочутливість різних тканин і органів. У ці ж роки починаються дослідження впливу радіації на ембріогенез.

Тарханов (Тарханошвілі) І.Р. (1846-1908) – російський фізіолог, учень І.М. Сеченова. І.Р. Тарханов перший в історії науки в 1896 році виявив і обґрунтував шкідливий вплив гама-радіації на організм тварин і людини. Дослідження І.Р. Тарханова продовжили і розширили німецькі біологи Г. Петерс, П. Лінзер і Є. Альберт, які в 1904 і 1905 роках опублікували результати своїх досліджень щодо ураження радіацією процесів ділення клітин, появу токсичних речовин в організмі (зокрема в крові) в наслідок іонізуючого опромінення. У 1905 році П. Лінзер із співавторами (Німеччина) виявили появу токсичних речовин у крові опромінених тварин. У цьому ж 1905 році Л. Хальберштадтер виявив атрофію яєчників у опромінених тварин. П. Браун і Дж. Осгоуд виявили азооспермію у людей, які піддавалися опроміненню, працюючи на заводі по виготовленню рентгенівських трубок.

Нільс Бор (1885-1962) – датський фізик, один із фундаторів сучасної фізики, творець теорії атома в основі якої лежить планетарна модель його внутрішньої структури, квантова уява і сформульовані постулати. Н. Бор в усі роки своєї наукової діяльності проявляв особливий інтерес до філософських проблем біології і радіобіології. У 1922 році одержав Нобелівську премію. З ім'ям Н. Бора пов'язана «копенгагенська» або вірогідна інтерпретація квантової теорії та її «парадоксів». Н. Бор планетарну модель структури атома побачив у вісні, так, як Д.І. Менделєєв у вісні побачив схему своєї таблиці системи елементів.

У 1934 році дочка Марії і П'єра Кюрі Ірен Жоліо-Кюрі (1897-1956), теж працюючи в галузі радіаційної фізики, відкрили штучну радіацію і, зі своїм чоловіком Фредеріком Жоліо (1900-1958) одержали в 1935 році Нобелівську премію в галузі хімії.

Зіверт Рольф (1896-1966) – шведський радіофізик, один із засновників радіобіології, проводив дослідження дії радіації на біологічні системи. У 1979 році в його честь названа одиниця виміру СІ ефективної і еквівалентної доз іонізуючого опромінення.

Тамм Ігор Євгенович (1895-1971) – вчений в галузі фізики елементарних частинок, ядерної фізики, квантової механіки. І.Є. Тамм лауреат Нобелівської премії 1958 року.

Сахаров Андрій Дмитрович (21.05.1921-14.12.1989) – вчений в галузі термоядерного синтезу, йому належить ідея щодо

нестабільності протона. А.Д. Сахаров вивчав проблеми космології і дослідженням ранньої історії Всесвіту. Йому належить важлива роль у створенні термоядерної зброї (водневої бомби). А.Д. Сахаров у співавторстві з І.Е. Таймом досліджували ідею створення магнітного термоядерного реактора, що лягла в основу розробки методів управління термоядерним синтезом. У 1975 році А.Д. Сахарову була присуджена Нобелівська премія світу.

У Німеччині Г. Шмідт вивчав радіоактивність торію. Вчені С. Мейер і Е. Швейдлер досліджували промені Бекереля. Ю. Ельстер і Г. Гейтель у 1899 році повідомили про атомарний характер радіоактивності. В Англії радіоактивність у ці ж роки вивчали У. Крукс і У. Рамзай. У США Н. Тесла виконав розробки щодо лазерної зброї тощо. В Італії Енріко Фермі показав, що бомбардування нейтронами викликає штучну радіацію тяжких металів. За ці дослідження він одержав Нобелівську премію в 1938 році.

Саме цей період вважається першим етапом розвитку радіобіології, який забезпечив науку уявленням про два кардинальні наступні фактори:

- іонізуюче опромінення викликає гальмування клітинного ділення;
- спостерігається різниця в ступені вираженості реакції різних клітин на опромінення.

У 1918 році, за ініціативою відомого рентгенолога М.І. Семенова, у Петербурзі було відкрито перший в країні радіобіологічний державний інститут рентгенології і радіології

У період 40-х та на початку 50-х років, завдяки швидкому розвитку ядерної фізики і техніки, а також у результаті радіоактивного забруднення довкілля, внаслідок випробування ядерної зброї, різко зріс інтерес до наслідків біологічної дії іонізуючого випромінювання. Цей період характеризується створенням великих дослідницьких центрів у США, бувшому СРСР, ряді країн Європи. У ці ж роки починає розроблятися система заходів захисту від радіації, радіаційна безпека, радіаційна гігієна. Нині інтенсивно розвивається цілий комплекс природничих радіаційних наук, зокрема, радіоекологія, радіогенетика, радіомедицина та радіобіологія ветеринарної медицини, радіологія сільського господарства (рослин і тварин), радіобіологія, космічна радіобіологія, радіологія біосфери тощо.

У розвиток космічної радіобіології значний внесок зробили М.В. Тимофєєв-Ресовський, В.І. Корогозін, Н.В. Лучкін та інші. У галузі молекулярної радіобіології слід відмітити важливий внесок І.Б. Бичковського, Е.Б. Бурлакова, Р.В. Петрова, Г.С. Стрепіна, І.Л. Черткова.

У галузь розробки заходів радіаційної безпеки здійснили значний внесок вчені В.Г. Володимиров, П.Г. Жеребченко, Ю.П. Кудряшова, С.П. Романцева, Т.К. Джаракян.

Засновниками сільськогосподарської радіоекології можна вважати В.М. Клечковського, І.В. Гулякіна, Е.В. Юдінцеву. Вивчення впливу радіації на організм рослин і тварин проводили П.Д. Горизонтова, Ю.Д. Григор'єва. Є.А. Жардін, Л.А. Ільїн, П.Н. Кисельов та інші. У розробку медичної клінічної радіобіології значний внесок зробили С.Н. Олександров, С.П. Ярмоленко, А.К. Гуськова, В.Г. Володимиров, Є.Ф. Романцев, С.Н. Ардашніков, В.С. Балабуха, Є.Я. Граєвський, Ю.Я. Керкис, А.В. Лебединський. Значний внесок у розвиток радіобіології та сільськогосподарської радіології вніс І.М. Гудков. Його наукова діяльність тісно пов'язана з вивченням та мінімізацією наслідків аварії на Чорнобільській АЕС в аграрній сфері. Ігор Миколайович Гудков є талановитий педагог і автор широко відомих підручників, посібників, наукових публікацій з радіобіології та радіоекології.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 2

ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОБІОЛОГІЇ

1. Радіоактивність та одиниці її вимірювання
2. Основні види доз іонізуючих випромінювань

1. Радіоактивність та одиниці її вимірювання.

Радіоактивність – це довільне перетворення нестабільних атомних ядер відповідного ізотопу в ядра інших ізотопів чи елементів або зміна їх енергетичного стану, що супроводжується іонізуючим випромінюванням.

Такі ізотопи мають назву радіоактивних, а процес такого перетворення має назву радіоактивний розпад. Радіоактивний розпад відбувається лише за рахунок внутрішньоядерних процесів, а його темп і характер не залежать від кількості радіоактивного елемента і не змінюються в залежності від звичайних умов впливу.

Іонізуюче випромінювання – високоенергетичне випромінювання (електромагнітне, корпускулярне), яке при взаємодії з речовиною безпосередньо або опосередковано викликає іонізацію та збудження її атомів і молекул.

Радіонукліди – радіоактивні атоми з певним масовим числом і атомним номером. Радіонукліди одного й того ж хімічного елемента називаються його радіоактивними ізотопами. Радіоактивний ізотоп розпадається зі швидкістю, що характеризується періодом піврозпаду (T , або $T_{1/2}$) – сталою величиною для кожного ізотопу – часом, протягом якого розпадається половина всіх ядер і виражається в одиницях часу – секундах, хвилинах, годинах, місяцях, роках. Кожен атом розпадається спонтанно, проте кожної секунди розпадається певна, визначена кількість його атомів.

Активність (A) – це кількість самочинних ядерних перетворень за одиницю часу. Чим більше розпадається радіоактивних ядер (активність), тим більша інтенсивність випромінювання. Швидкість розпаду атомів кожного радіоактивного ізотопу характеризується пов'язаними між собою величинами – періодом піврозпаду T та сталою розпаду λ .

Стала розпаду (λ) – це характерна для певного ізотопу величина, яка показує частку радіоактивних атомів, що розпадаються за одиницю часу і виражається в обернених секундах (с⁻¹).

Закон радіоактивного розпаду визначає, що за одиницю часу розпадається однакова частка ядер, що є у наявності. Тому кількість ядер радіоактивного ізотопу з часом зменшується відповідно до експоненційної залежності:

Період піврозпаду (T) і стала розпаду (λ) пов'язані між собою залежністю, чим більший період піврозпаду, тим менша стала розпаду і навпаки.

Розрізняють такі види радіоактивного розпаду.

Альфа-розпад (α -розпад). Характерний для ізотопів природних радіоактивних елементів з великим порядковим номером (з низькими енергіями зв'язку в ядрі):

Альфа-розпад призводить до зменшення порядкового номеру елемента на дві одиниці і масового числа на чотири одиниці.

Електронний бета-розпад (β -розпад). Характерний як для природних, так і для штучних радіоактивних ізотопів:

У випадку, коли в ядрі елемента нейтрон перетворюється на протон і зі швидкістю світла вилітає електрон, виникає ядро нового елемента, масове число якого не змінюється, а порядковий номер збільшується на одиницю.

Позитронний бета-розпад (β^+ -розпад). Відбувається у деяких штучних радіоактивних елементів.

При позитронному розпаді ядро елемента випускає позитрон (e^+) (протон перетворюється на нейтрон, а також зі швидкістю світла вилітає позитрон), порядковий номер елемента, що розпадається, зменшується на одиницю, а масове число залишається незмінним. К-захоплення (захоплення орбітального електрону ядром). При такому типі радіоактивного розпаду ядро атому захоплює електрон з К-оболонки і має місце перетворення ядра подібне до позитронного розпаду.

Під час К-захоплення порядковий номер елемента зменшується на одиницю, а масове число залишається незмінним. При цьому випускаються два γ -кванти з енергією 0,511 МеВ кожний.

Порівняно з α -розпадом вірогідність спонтанного поділу ядер дуже незначна. В результаті поділу важких ядер утворюються пари осколків, які являють собою ядра елементів з середніми масовими числами.

Термоядерні реакції протікають при надзвичайно високих температурах ($n \cdot 10^9$ С). Ядра легких елементів рухаючись зі значною кінетичною енергією об'єднуються в ядра більш важких елементів з виділенням значної енергії.

За одиницю радіоактивності (активності) в системі СІ прийнятий 1 бекерель (Бк). Бекерель – це така кількість радіоактивної речовини чи елемента, в якій за 1 с розпадається один атом. $1 \text{ Бк} = 1 \text{ розп./с}$, або 1 розп. с^{-1} . Похідними від Бк є:

$$1 \text{ кБк} = 1.103 \text{ Бк}; 1 \text{ МБк} = 1.106 \text{ Бк}.$$

Позасистемною одиницею радіоактивності, яка досить широко використовувалась раніше, є кюрі (Ки).

Кюрі – це така кількість радіоактивної речовини (чи елемента), в якій за 1 с розпадається 37 млрд. атомів. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ розп./с}$, або $2,22 \cdot 10^{12} \text{ розп./хв}$. Таку радіоактивність мають 1 г ^{226}Ra , або 3т ^{238}U , або 0,00001 г ^{131}I .

Величина Кюрі, як видно, досить значна величина, тому вживаються похідні одиниці у бік зниження.

Маса 1 моля речовини (М), виражена в грамах, дорівнює його молекулярній масі і в ньому міститься така кількість атомів, молекул, іонів (специфікованих структурних одиниць), що дорівнює сталій Авогадро ($N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$).

Тому між активністю (А) в Бекерелях та масою радіоактивного елемента (m) в грамах існує певний зв'язок.

Питома активність – активність, що припадає на одиницю:

1. Маса (масова питома активність, A_m): $A_m = A/m$, (Бк/кг)
 2. Об'єму (об'ємна питома активність, A_v): $A_v = A/V$, (Бк/м³)
 3. Поверхні (поверхнева питома активність, A_s): $A_s = A/S$, (Бк/м²).
- де: А- активність (Бк); m – маса (кг, г); v– об'єм (л, м³); s – поверхня (м², км²).

Щільність забруднення ґрунту – (питома поверхнева активність, A_s) це активність даного радіонукліду, що припадає на одиницю площі поверхні ґрунту. Одиниця вимірювання в системі СІ - Бекерель на квадратний метр (Бк/м², кБк/м²). Позасистемною одиницею щільності забруднення ґрунту є Ки/км².

2. Основні види доз іонізуючих випромінювань

В радіобіології розрізняють п'ять основних видів доз іонізуючих випромінень: експозиційну; поглинену; еквівалентну; ефективну; колективну.

Експозиційна доза фотонного випромінювання (D_x) є відношенням сумарного заряду усіх іонів одного знака (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. $D_x = dQ/dm$.

В системі СІ за одиницю експозиційної дози прийнято кулон на кілограм (Кл/кг). Позасистемною одиницею експозиційної дози є рентген (Р). Рентген – це така кількість іонізуючих випромінень, яка утворює в 1 см^3 сухого повітря при нормальних умовах біля 2 млрд. пар іонів. Похідними від рентгена є: 1 мілірентген (мР), 1 мікрорентген (мкР).

Поглиненою є доза, яка 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. В системі СІ за одиницю поглиненої дози прийнято Грей (Гр); розмірність поглиненої дози – джоуль на кілограм; $1 \text{ Грей} = 1 \text{ Дж/кг}$.

Еквівалентна доза в органі або тканині (НТ) – величина, яка визначається як добуток поглиненої дози D_T в окремому органі або тканині T на радіаційний зважуючий фактор

Одиницею еквівалентної дози у системі СІ є зіверт (Зв). Зіверт – це енергія будь-якого виду іонізуючого випромінювання, поглиненого 1 кг біологічної тканини, при якому біологічний ефект тотожний поглиненій дозі 1 Гр контрольного рентгенівського або гамма-випромінювання. Позасистемною одиницею еквівалентної дози є бер (біологічний еквівалент рада).

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 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. Для врахування нерівномірного впливу іонізуючою випромінювання на організм розрізняють ефективну та колективну еквівалентні дози. Ефективна еквівалентна доза (E) - сума добутоків еквівалентних доз НТ в окремих органах і тканинах на відповідні тканинні зважуючі фактори wT.

Ефективна еквівалентна доза дозволяє вирівняти ризик опромінення без урахування 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. Для оцінки ризику опромінення однієї людини або певної групи людей введено поняття індивідуальна й відповідно колективна еквівалентна дози ($H_{\text{інд}}$ та $H_{\text{кол}}$).

Колективна ефективна (еквівалентна) доза - сума індивідуальних ефективних (еквівалентних) доз опромінення певної групи населення за певний період часу, або сума добутоків середньогрупових ефективних (еквівалентних) доз на число осіб у відповідних групах, що утворюють колектив, для якого вона розраховується.

З метою оцінки ризику виникнення небажаних біологічних ефектів залежно від часу, протягом якого була одержана доза, введена очікувана, або напіввікова, еквівалентна доза внутрішнього опромінення (E50). Вона є сумою еквівалентних доз, які людина одержує за певний період. При E50 період часу прийнято за 50 років – середня тривалість періоду професійної діяльності людини. Одиниця очікуваної еквівалентної дози – Зіверт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 3

РАДІОМЕТРІЯ

1. Радіометрія

2. Апаратура для дозиметрії та радіометрії

1. Радіометрія

Радіометрія – розділ прикладної ядерної фізики, радіоекології та радіобіології, що розробляє теорію і практику вимірювання радіації та ідентифікації радіоактивних ізотопів. З цією метою розробляються і використовуються радіометри таких груп:

1. Прилади для визначення радіаційного забруднення води, ґрунту, рослинних і харчових продуктів методом “прямого” вимірювання. Здійснюється визначення радіаційного забруднення безпосередньо на певній місцевості.
2. Прилади для визначення радіаційного забруднення засобів транспорту, одягу.
3. Прилади для проведення спеціальних досліджень у біології, медицині.
4. Прилади для проведення аналізу радіоактивного складу проб спектрометричними (оптичних спектрів) методами.

Всі ці прилади ділять на стаціонарні (лабораторні) і переносні; за видом реєстрації – універсальні і призначені для реєстрації одного виду радіації за типом детекторів (виявлювачів), що використовуються – сцинтиляційні (принцип роботи оснований на збудженні зарядженими частинками) і газорозрядні.

Основні методи виявлення і вимірювання радіації є наступні: фотографічний, хімічний, сцинтиляційний, люмінесцентний, іонізаційний, колориметричний.

Фотографічний метод базується на впливі іонізуючих випромінювань на світлочутливий шар фотоплівки, щільність потемніння якої пропорційна дозі опромінення. Хімічний метод ґрунтується на здатності іонізуючих випромінювань спричиняти хімічні зміни деяких речовин, що супроводжуються появою нового забарвлення розчину цих речовин. Сцинтиляційний метод використовує явище світіння деяких речовин під впливом

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

Прилади дозиметричного контролю іонізуючих випромінювань призначені для вимірювання потужності іонізуючого випромінювання (рівня радіації) і ступеня радіоактивного забруднення різних предметів. На основі радіометричних досліджень визначаються заходи і дії за умов визначеного рівня забруднення.

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

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

- вимірювачі потужності дози, з допомогою яких вимірюються рівні радіації (ДП-3б, ВДП-21с, ВДП-21Б);

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

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

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

- газосигналізатори автоматичні, за допомогою яких проводять автоматичний контроль навколишнього середовища з метою виявлення отруйних парів радіаційних речовин, аерозолів (ГСА-12, АСП, ГСП-11, ГС-СОМ);

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

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

2. Апаратура для дозиметрії та радіометрії

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. 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).

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/м² (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 й т.д. Дозиметри. Вимірювання експозиційної дози,

поглиненої дози й потужності дози випромінювання. Залежно від призначення дозиметри ділять на три групи:

- кишенькові прилади для індивідуального дозиметричного контролю;
- переносні прилади групового дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю;
- стаціонарні прилади для дозиметричного і радіаційно-технологічного контролю.

Дозиметр кишеньковий прямопоказуючий ДК-0,2 призначений для контролю за експозиційною дозою жорсткого рентгенівського та -випромінювання з енергією 0,2-2,0 MeV 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, призначений для зарядки дозиметрів. Саморозрядка 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.

Його вимірюють за допомогою вмонтованого в дозиметр мініатюрного електроскопу. Відхилення рухомої системи електроскопу (платинована кварцова нитка діаметром 5 мкм) визначається по шкалі мікроскопа, що від градуйована 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 прямо-показуючих дозиметрів: ДКП-50, ІД-1, ІД-0,2. Індивідуальний дозиметр ДКП-50, що входять до комплекту ДП-22-В і ДП-24, - це кишенькова конденсаторна камера, призначена для вимірювання індивідуальних доз фотонного випромінення 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 -випроміненням з енергією 0,02-2,0 МеВ в діапазоні 0,005-1,0 Р. Цей діапазон вимірювань розбито на два піддіапазони: 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 енергії 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 ємкість, 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, призначений для вимірювання експозиційних доз жорсткого рентгенівського та -випромінення 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 -випромінень. Дозиметр подає звуковий та світловий сигнали при наявності потоку теплових нейтронів, жорсткого -випромінення з енергією більше 0,5 МеВ, а також рентгенівського та -випромінення. Цей прилад вимірює потужність експозиційної дози і експозиційну дозу рентгенівського та -випромінень в діапазоні енергій фотонів 0,05-3,0 МеВ. Діапазон потужності експозиційної дози - 0,1-999,9 мР/год ($7,16 \cdot 10^{-12}$ – $7,16 \cdot 10^{-8}$ А/кг); діапазон вимірювань експозиційної дози 1-4096 мР ($2,58 \cdot 10^{-7}$ – $1,03 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг). Детектором - випромінення 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 випромінення на виході детектору виникають імпульси, котрі за допомогою електричної схеми перетворюються у звукову та світлову сигналізації, 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 мР ($2,6 \cdot 10^{-7}$ 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 полістеролу у вигляді прямокутної коробки, що складається з двох з'єднаних між собою половинок.

Дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА» 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 (^{137}Cs) $0,1-9999 \text{ мк}^3\text{в/год.}$, відносна погрішність вимірювання $\pm 15\%$.

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" призначений для вимірювання потужності еквівалентної дози γ - і рентгенівського випромінювання. Дозиметр використовується для контролю несанкціонованого переміщення радіоактивних матеріалів, пошуку джерел радіоактивного випромінювання.

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 і його модифікації ДКС-АТ3509А, ДКС-АТ3509В, ДКС-АТ3509С призначені для вимірювання індивідуальної еквівалентної дози і потужності дози короткочасного й безперервного рентгенівського й γ -випромінювання.

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; індивідуальній 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 розрізняти десятки частки $\text{мк}^3\text{в}$. Універсальний дозиметр гамма-випромінювання ДКГ-01Д "Гарант" застосовується як для інспекційного, так і для безперервного радіаційного контролю об'єктів, установок.

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 призначений для вимірювання поточного індивідуального еквівалента дози $\text{Hr}(10)$ і вимірювань потужності індивідуального еквівалента дози $\text{Hr}(10)$. Застосовується в індивідуальній дозиметрії. Програмне забезпечення дозволяє встановлювати систему постійного дозиметричного контролю й моніторингу опромінення персоналу на підприємстві.

Прилади, що працюють на базі фотографічного методу виявлення іонізуючих випромінень. Комплект індивідуальних фотодозиметрів ІФК-2,3 призначений для визначення величини дози рентгенівського, і випромінювання, а також для контролю інтегральної дози опромінення тепловими і швидкими нейтронами по почорнінню рентгенівської плівки.

Діапазон енергій: випромінювання 0,2-3,5 МеВ, рентгенівського та випромінювання 0,02-3,0 МеВ. Діапазон визначення доз залежить

від типу використаної рентгенівської плівки (РМ-5-1, РМ-5-3, РМ-5-4 та ін.) і може коливатись для рентгенівського γ -випромінювання від 0,01 до 50 Р, а для β -випромінювання від 0,05 до 2,0 рад. Похибка вимірювання сумарних доз складає $7 \pm 20\%$. Для визначення оптичної щільності почорніння рентгенівських плівок використовують денситометр ДФЕ-10. Дозиметр ІФК-2,3 має фільтри-поглиначі, що дає можливість приблизно оцінювати енергію фотонного випромінювання і розраховувати поглинуті дози у критичних органах. Корпус касети має розміри $50 \times 40 \times 10$ мм і поділений на чотири секції. Одна секція – наскрізне вікно, у трьох інших встановлені: 1 - свинцеві фільтри (0,75 мм) з пластинкою гетінакса; 2 - алюмінієві фільтри (2 мм) з пластинкою гетінакса; 3 - гетінакс з кадмієвою фольгою (0,027 мм). Дозиметр ІФКУ використовують для вимірювання поглинутих доз випромінювання з енергією фотонів від 0,1 до 3,0 МеВ, β -випромінювання енергією від 1,0 МеВ і більше, а також еквівалентної дози теплових нейтронів. Діапазон вимірювань (при використанні плівки РМ-5-1) становить 0,05-2,0 рад (бер). Максимальна похибка вимірювань доз β -випромінювань 20%, γ -випромінювання - 50%. Розмір касети з фільтрами алюмінію, свинцю і кадмію $67 \times 33 \times 10$ мм. Описані дозиметри працюють за однаковим принципом - утворення прихованого фотографічного зображення при іонізації солей срібла, які містяться в фотоемульсії, випромінюваннями. Густина почорніння опромінених плівок після проявки в стандартних умовах визначається денситометром. Користуючись градуйованою кривою залежності інтенсивності почорніння плівки від дози, розрахованої при опроміненні контрольних плівок відомими дозами, визначають індивідуальні поглинуті дози за час опромінення. Прилади, що працюють на основі люмінесцентного методу виявлення іонізуючих випромінень. Люмінесцентні дозиметри поділяються на радіофотолюмінесцентні (РФЛ) та термолюмінесцентні (ТЛ). Принцип їх роботи такий: при поглинанні кристалами (люмінофорами) енергії іонізуючого випромінення виникають вільні електрони, котрі захоплюються центрами люмінесценції. Цей процес називається запасанням світлосуми. Звільнення електронів з «пасток» при нагріванні або додатковому опроміненні кристалу призводить до рекомбінації вільних електронів з дірками на центрах люмінесценції. Енергія, яка виділяється при рекомбінації, переводить центр у збуджений стан. При цьому виникає люмінесценція, котра і є мірою поглиненої

енергії, тобто дозою випромінення. Комплект термолюмінісцентних дозиметрів КДТ-1 призначений для індивідуального дозиметричного контролю в широкому діапазоні експозиційних доз -випромінювання ($1 \cdot 10^1 - 1 \cdot 10^4$ Р). Він складається з набору касет з детекторами на основі LiF і CaSO₄, активованого марганцем, а також вимірювального пульта. Дозиметр КДТ-02 призначений для вимірювання експозиційної дози випромінення з енергією 0,06-1,25 MeV в діапазоні $0,03 - 1,0 \cdot 10^3$ Р. Прилад складається з дозиметрів з детекторами на основі LiF і скелець, що люмінесціюють, які містять борат магнію, а також пульта для реєстрації показників детекторів. Дозиметр ІКС-А використовується для вимірювання великих експозиційних доз -випромінювання ($0,5 - 8,0 \cdot 10^3$ Р) в аварійних умовах. В них детектором випромінень є алюмофосфатні скельця.

Переносні прилади.

Загальний контроль потужності дози зовнішнього – та рентгенівського випромінювань здійснюється за допомогою рентгенометрів. Вони призначені для оцінки радіаційного стану, перевірки надійності засобів захисту від фотонного випромінення і зберігання високоактивних -випромінюючих ізотопів, які при взаємодії з матеріалами захисних контейнерів, утворюють гальмівне випромінювання, наприклад ⁹⁰Sr. Рентгенометри різних типів складаються з лічильника ядерних випромінювань, для чого використовують іонізаційну камеру, газорозрядний або сцинтиляційний лічильник посилювача і нормалізатора 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 відградує в одиницях потужності експозиційної дози – Р/год, мР/год, мкР/год, або в одиницях еквівалентної дози фотонного випромінення – м³/год, мк³/год.

Деякі рентгенометри, наприклад СРП-68-01, СРП-88, можуть працювати і в імпульсному режимі, тобто реєструвати окремі імпульси струму, що виникають при взаємодії -кванту з детектором. Такі прилади називають рентгенометрами-радіометрами. Вони оснащені перемикачем виду робіт і мають подвійне позначення шкали (мкР/год та с-1). Якщо прилади даного типу оснащені змінними блоками детектування, то вони стають універсальними,

тобто призначеними для рішення багатocільових задач, включаючи вимірювання потужності дози фотонного випромінення, визначення ступеню забруднення поверхні – та (або) -активними ізотопами, вимірювання густини потоку швидких і теплових нейтронів (прилади МКС-04, УІМ-2-1eМ, МКС-01-Р та ін.).

Геологорозвідувальний рентгенометр СРП 68-01 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.

Прилад дозволяє проводити вимірювання потоку – 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 -квантів (с-1) на 100, 300, 1000, 3000, 10000; для вимірювання потужності експозиційної дози (мкР/год) на 30, 100, 300, 1000, 3000. Для контролю роботи приладу в нього вмонтовано джерело ^{60}Co з періодом піврозпаду 5,25 років. Нижній поріг дискримінації - випромінювання для енергії знаходиться в межах від 15 до 35 кеВ. Межі допустимої основної похибки вимірювань $7\pm 15\%$. Час для встановлення робочого режиму не більше 1 хв. з моменту вмикання приладу. Стала часу інтегрування 2,5-5 с. При сталій часу 5 с підвищується точність підрахунку, але при цьому зростає інертність приладу. Комплект живлення приладу складається з 9 елементів типу "343", що з'єднані послідовно і забезпечують безперервну роботу протягом 8 годин.

У радіометрах типу ДРГЗ-01, ДРГЗ-02, ДРГЗ-03, МКС-04 використовують сцинтиляційні детектори з комбінованим повітряноеквівалентним пластмасовим сцинтилятором і ФЕМ. Діапазон вимірювання потужності експозиційної дози цими приладами – 0,1–1000 мкР/с. Переносний радіометр КРБ-1 (рис. 13) призначений для вимірювання сумарної β -активності (бета-забруднення) поверхонь у діапазоні від 10 до 107 розп/(хв·см²) при рівні гамма-фону від 10-4 до 1 рад/год. Як детектори в ньому використані газорозрядні лічильники СИ-8Б і СИ-19БГ.

Чутливий лічильник СИ-8Б включається при вимірюванні β -випромінювання в діапазоні 10-104 розп / (хв·см²), а СИ-19БГ – у діапазоні від 104 до 107 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. 14) 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

Стаціонарні прилади.

Стаціонарні радіометри призначені для визначення питомої масової при об'ємній сумарній β -активності рідких і сипучих речовин методом «товстих» зразків. Основним елементом для визначення питомої сумарної β -активності є детектор випромінювання. Використовують газорозрядні або сцинтиляційні детектори. Сцинтиляційний детектор забезпечує значно більшу поверхню контакту зі зразком, ніж газорозрядний. Завдяки цьому підвищується чутливість визначення питомої сумарної масової активності (ПМСА), тому що β -випромінювання може влучати в детектор тільки з поверхневого шару. У бета-радіометрі РКБ 4-1eM (і аналогічному РЖС-05) як детектор використовують сцинтилятор у вигляді об'ємно-активованих пластин-світловодів з розвиненою чутливою поверхнею. У результаті забезпечується можливість визначення питомої об'ємної активності в діапазоні від $5 \cdot 10^{-11}$ до 10^{-7} Кі/л. Для визначення ПСМА твердих, рідких і сипучих речовин методом «товстих» зразків найбільше широко використовують радіометр комбінований КРК-1-01А. Діапазон вимірів ПСМА – від $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-6}$ Кі/кг. В якості детектора випромінювання застосовують блок із двох газорозрядних лічильників СИ-14Б. Основний лічильник реєструє β - і γ -випромінювання зразка. Компенсаційний лічильник розташовується над основним і відділяється від нього сталевим екраном, що поглинає β -випромінювання. У результаті компенсаційний лічильник реєструє тільки гамма-випромінювання. Рахунковий пристрій УСЦ-01 лічить швидкість рахунку цих двох

лічильників. Більша частина фону визначається гамма-випромінюванням, тому фонові лічба обох лічильників приблизно однакова і різниця визначається тільки β -випромінюванням проби. Ефективність реєстрації основного лічильника β -випромінювання з максимальною енергією 0,2 МеВ – близько 10%, а 1 МеВ -70%. Пробу для аналізу поміщають у кювету діаметром 80 мм і товщиною 10 мм. Таку пробу вважають «товстою» для β -випромінювання ^{137}Cs , тобто подальше її зменшення практично не приведе до збільшення виходу β -випромінювання. Теоретично для «товстого» зразка лічба β -випромінювання не залежить від щільності зразка, однак реально така залежність (у межах 10–30%) існує в основному як результат недостатньої товщини проби для β -випромінювання з великою максимальною енергією. Тому перед вимірюванням пробу подрібнюють, щоб досягти щільності, близької до щільності еталона, який використовується для калібрування. Подрібнення проби дозволяє також збільшити її однорідність. У деяких пробах, особливо ґрунту, частина активності визначається окремими частинками з великою питомою масовою активністю («гарячі» частинки). Якщо проба недостатньо однорідна, останні можуть перебувати на різній глибині проби й давати різний внесок у вимірювану активність. Спектрометр енергії β -випромінювання СЕБ-01-70 призначений для виміру активності β -випромінюючих радіонуклідів у пробах об'єктів навколишнього середовища, продуктах харчування, воді, радіоактивних розчинах, в аерозольних фільтрах, у зразкових джерелах β -випромінювання. Спектрометр призначений для використання в радіологічних лабораторіях, на АЕС, у медичних установах, СЕС, у ветеринарних лабораторіях, у геології й інших областях.

Спектрометр дає можливість роздільного визначення ^{90}Sr і ^{90}Y , що дозволяє проводити вимірювання зразків відразу після радіохімічного виділення ^{90}Sr , не чекаючи двох тижнів досягнення стану рівноваги. Спектрометр енергії γ -випромінювання СЕГ-001 «АКП-С» призначений для визначення якісного й кількісного складу γ -випромінюючих радіонуклідів в об'єктах навколишнього середовища, сільськогосподарській продукції, продуктах харчування, будівельних матеріалах, радіоактивних відходах. Прилад може застосовуватися як для експертних вимірювань, так і для експрес-контролю на не перевищення припустимих рівнів за дуже короткий час-хвилини та секунди.

Спектрометр енергій γ -випромінювання сцинтиляційний СЕГ-001м «АКП-С»-63 призначений для визначення якісної й кількісної сполуки радіонуклідів у пробах продуктів харчування, сільськогосподарській продукції, будівельних матеріалах, металобрухті, радіоактивних відходах, об'єктах навколишнього середовища.

Результати обробки видаються на рідкокристалічний індикатор. Прилад може застосовуватися для оснащення служб радіаційного контролю підприємств торгівлі, ринків, виробників продуктів харчування, будівельних матеріалів з метою експрес-контролю. Спектрометр дає можливість контролю зразків на не перевищення припустимого рівня змісту радіонуклідів за короткий час (експрес-аналіз). Може використовуватися в умовах підвищеної вологості й пилоутворення і має надійний захист від комах. Розбірна конструкція захисту дозволяє переносити прилад і розвертати вимірювальний пост у будь-якому зручному місці і дає можливість використання приладу в пересувних лабораторіях. Вимірювана інформація автоматично зберігається і є можливість перегляду й обробки інформації на стаціонарному комп'ютері.

Спектрометр енергій β -випромінювання СЕБ-01-150 призначений для вимірювання активності β -випромінюючих радіонуклідів у пробах об'єктів навколишнього середовища, продуктах харчування, воді, радіоактивних розчинах, у повітряних фільтрах, у зразкових джерелах β -випромінювання з діапазоном вимірювання активності 0,1-105 Бк і в діапазоні енергій, що реєструються, від 0,1 до 3,5 МеВ. Можливе роздільне визначення ^{90}Sr і ^{90}Y , яке дозволяє проводити вимірювання зразків відразу після радіохімічного виділення ^{90}Sr , не чекаючи стану рівноваги (два тижня). Спектрометр використовується в радіологічних відділах ветлабораторій і СЕС, на АЕС, у медичних установах, у геології й інших галузях. Гамма-спектрометр сцинтиляційний «Мультирад-Гамма» з високочутливим сцинтиляційним детектором (рис. 20) призначений для вимірювання активності γ -випромінюючих радіонуклідів у рахункових зразках і інших об'єктах; прижиттєвого визначення активності γ -випромінюючих радіонуклідів у тілі й органах людини (ЛВЛ-Гамма); визначення радіонуклідного складу досліджуваних об'єктів.

Спектрометр застосовується при радіаційному контролі харчової й сільськогосподарської продукції, будівельних матеріалів, продукції

лісового господарства, питної води й ін.; в охороні праці, радіаційному контролі, радіоекологічних моніторингових дослідженнях, технологічному контролі на підприємствах, наукових дослідженнях. Мінімальна вимірювана активність (на рахунковий зразок) по ^{137}Cs – 3 Бк, по ^{232}Th – 7 Бк, по ^{226}Ra – 8 Бк, по ^{40}K – 40 Бк з основною погрішністю вимірювання не більше $\pm 10\%$.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гайченко В. А. Практикум з радіобіології та радіоекології / В. А. Гайченко, І. М. Гудков, В. О. Кашпаров. – К. : Кондор, 2010. – 286 с.
2. Гродзинський Д. М. Радіобіологія / Д. М. Гродзинський. – К. : Либідь, 2000. – 448 с.
3. Гудков І. М. Радіобіологія / І. М. Гудков. – К. : НУБіП України, 2016. – 485 с.
4. Гудков И. Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии / И. Н. Гудков. – К. : Изд-во УСХА, 1991. – 327 с.
5. Гудков І. М. Сільськогосподарська радіобіологія / І. М. Гудков, М. М. Віннічук. – Житомир: Вид-во ДАУ, 2003. – 472 с.

Тема 4

БІОЛОГІЧНА ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

1. Реєстрація іонізуючих випромінювань.
2. Захист від іонізуючого випромінювання.

1. Реєстрація іонізуючих випромінювань

Детектори іонізуючих випромінювань. Високоенергетичні частинки і кванти взаємодіють з електронами атомів і молекул, збуджують та іонізують їх, а також викликають певні додаткові ефекти. Іони та електрони, що виникають при цьому, можуть рекомбінувати, тобто перетворюватися знову у нейтральні атоми і молекули за рахунок захвату іонами електронів. Рекомбінація іонів, як і перехід атому або молекули зі збудженого стану до основного, супроводжується випусканням кванту електромагнітного випромінювання – фотону. У зв'язку з тим, що енергії збудження, іонізації атомів і молекул мають величини порядку одиниць або десятків електронвольт, при рекомбінації або переході до основного стану (дезбудження) фотони мають таку саму енергію і відносяться до діапазону видимого світла. Під час взаємодії γ -квантів з атомами виникають один електрон або електрон і позитрон, заряд яких такий малий, що його практично неможливо зареєструвати. Разом з тим вони будуть іонізувати атоми середовища, що призводить до утворення заряду і спалаху, які вже можна зареєструвати. Вимоги, що висуваються до реєструючих приладів, залежать від того, які частинки і у якому діапазоні енергій вони повинні реєструвати. Приладом можна визначити кількість окремих частинок, а також зареєструвати інтенсивність потоків не виділяючи окремих частинок. Можна лише реєструвати частинки не визначаючи їх типи, вимірювати їх енергії, просторовий розподіл тощо. Іншими словами, прилади, що реєструють іонізуючі випромінювання, істотно відрізняються не лише конструкцією, але і принципом дії в залежності від призначення. Разом з тим існують певні загальні характеристики усіх приладів, які не залежать від принципу їх дії і за якими можна визначити можливість використання приладу для вирішення конкретного завдання.

До таких характеристик відносяться:

- функція відповіді, що визначає зв'язок між властивостями частинки та характеристиками сигналу;
- чутливість детектору;
- ефективність приладу – відношення кількості зареєстрованих частинок до кількості частинок у чутливому об'ємі приладу;
- енергетична роздільність приладу – мінімальні значення енергії різних частинок, за яких можливо розпізнати відмінності їх енергії;
- часова роздільність приладу – мінімальний інтервал часу за який можна відрізнити попадання двох частинок;
- вибіркова здатність – здатність приладу визначати частинки лише одного типу.

Універсальним є детектор, який ідентифікує частинки, тобто визначає їх частинки, і визначає їх енергію. Такий детектор може одночасно реєструвати частинки різних типів. Загалом детектор вибирають залежно від завдання дослідження тому, що високі параметри за однією його характеристикою часто пов'язані зі зміною інших.

Газонаповнені іонізаційні детектори. Іонізаційна камера. В газонаповнених іонізаційних детекторах робочим тілом є газ. Заряджена частинка, потрапляючи до нього іонізує і збуджує атоми і молекули, внаслідок чого вздовж треку частинки з'являються іони і електрони. Якщо в газі немає електричного поля, то електрони і іони будуть частково рекомбінувати. Якщо в газі утворити електричне поле, то під його впливом заряди почнуть впорядковано рухатися. Це можна використати для реєстрації частинок. Іонізаційна камера по суті є конденсатором в якому внаслідок утворення впорядкованого руху зарядів виникає індукований струм, пропорційний напруженості електричного поля. Заряди електронів і іонів в електричному полі рухаються в різні боки і вносять різний внесок у загальний індукований заряд, який дорівнює сумі зарядів, індукованих електронами і іонами, і може бути зареєстрований. Іонізаційні камери бувають плоскими, циліндричними і сферичними. Відмінність між ними лише в розміщенні аноду і катоду, які в циліндричній, наприклад, іонізаційній камері розташовані коаксильно – анодом є центральний електрод, а катодом – зовнішній циліндр, який одночасно є і корпусом камери. За допомогою іонізаційних камер можна ідентифікувати всі види іонізуючих випромінювань – від γ -квантів до нейтронів. Для цього в залежності від завдання внутрішній

простір камери заповнюють відповідними газами, які дають можливість точно ідентифікувати вид випромінювання та його потужність. Пропорційні лічильники. Характеризуються тим, що в їх об'ємі за рахунок вторинної іонізації газу первинними електронами утворюються додаткові заряди. Електрони і іони, що виникли, під впливом електричного поля починають рухатись до електродів камери. Під час руху вони зіштовхуються з атомами газу внаслідок чого виникає вторинна іонізація і за умови високої напруженості електричного поля виникає явище, що має назву коефіцієнт газового посилення. Основною характеристикою таких лічильників є те, що внаслідок кожного пробігу первинних електронів в об'ємі газу кількість вторинних електронів пропорційно збільшується на кожен пробіг вдвічі, тобто має лавиноподібний характер, характерний для газового розряду, який виникає лише за умови наявності первинної іонізації. Газорозрядні лічильники. При збільшенні прикладеної до циліндричного лічильника напруги коефіцієнт газового посилення буде постійно зростати і в решті решт стане настільки високим, що в ньому виникне газовий розряд. Напругу за якої виникає газовий розряд називають напругою підпалу, а газовий розряд – коронним. В його умовах коефіцієнт електричному полі рухаються в різні боки і вносять різний внесок у загальний індукований заряд, який дорівнює сумі зарядів, індукованих електронами і іонами, і може бути зареєстрований. Іонізаційні камери бувають плоскими, циліндричними і сферичними. Відмінність між ними лише в розміщенні аноду і катоду, які в циліндричній, наприклад, іонізаційній камері розташовані коаксильно – анодом є центральний електрод, а катодом – зовнішній циліндр, який одночасно є і корпусом камери. За допомогою іонізаційних камер можна ідентифікувати всі види іонізуючих випромінювань – від γ -квантів до нейтронів. Для цього в залежності від завдання внутрішній простір камери заповнюють відповідними газами, які дають можливість точно ідентифікувати вид випромінювання та його потужність.

Пропорційні лічильники. Характеризуються тим, що в їх об'ємі за рахунок вторинної іонізації газу первинними електронами утворюються додаткові заряди. Електрони і іони, що виникли, під впливом електричного поля починають рухатись до електродів камери. Під час руху вони зіштовхуються з атомами газу внаслідок чого виникає вторинна іонізація і за умови високої напруженості електричного поля виникає явище, що має назву коефіцієнт газового

посилення. Основною характеристикою таких лічильників є те, що внаслідок кожного пробігу первинних електронів в об'ємі газу кількість вторинних електронів пропорційно збільшується на кожен пробіг вдвічі, тобто має лавиноподібний характер, характерний для газового розряду, який виникає лише за умови наявності первинної іонізації.

Газорозрядні лічильники. При збільшенні прикладеної до циліндричного лічильника напруги коефіцієнт газового посилення буде постійно зростати і в решті решт стане настільки високим, що в ньому виникне газовий розряд. Напругу за якої виникає газовий розряд називають напругою підпалу, а газовий розряд – коронним. В його умовах коефіцієнт газового посилення настільки високий, що не залежить від щільності первинної іонізації – одиничний електрон може викликати коронний розряд такий самий, як і α -частинка. Режим коронного розряду використовується для підрахунку частинок (але не для визначення їх енергії), для чого після кожного імпульсу розряд необхідно переривати (гасити). Найчастіше в якості газу в лічильниках такого типу використовують пари органічних молекул спирту (90% аргону, 10% спирту) або галогенів (0,1% Cl_2 , Br_2 , I_2). Такі лічильники мають здатність до самогасіння коронного розряду внаслідок пригнічення ролі вторинних електронів на катоді. Такі лічильники можна використовувати для реєстрації заряджених частинок, γ -квантів і нейтронів. Недоліком їх (як і інших газонаповнених детекторів) є низька ефективність реєстрації γ -квантів і нейтронів, а також неможливість їх використання для вимірювання величини енергії частинок, що мають значну довжину пробігу.

Сцинтиляційні детектори Спостереження сцинтиляцій є одним з перших методів реєстрації іонізуючих випромінювань. Ще у 1911 р. його використовував Е. Резерфорд для реєстрації розсіяних α -частинок. Метод полягає в тому, що при попаданні швидкої частинки в деяких речовинах виникає світловий мікроспалах – сцинтиляція. Е. Резерфорд у своїх дослідженнях використовував сірчистий цинк ZnS , а сцинтиляції реєстрував візуально. Метод був дуже трудомістким і його припинили використовувати лише з'явилися інші детектори. До використання сцинтиляторів повернулися після появи фотоелектронних помножувачів (ФЕП), однак в цьому випадку реєстрували не сцинтиляцію, а викликаний нею струм у ФЕП. Сучасний сцинтиляційний детектор складається з сцинтилятора, який

може бути твердим, рідким або газоподібним, ФЕП та джерела високої напруги. Працює він наступним чином. Попадання до сцинтилятора частинки викликає світловий мікроспалах – сцинтиляцію. Фотони світлового спалаху потрапляють на фотокатод, що знаходиться з внутрішнього боку верхньої частини ФЕП, і за рахунок фотоефекту викликають виникнення всередині ФЕП фотоелектронів. Між фотокатодом і електродами ФЕП, які називають дінодами, прикладене електричне поле, що прискорює фотоелектрони і спрямовує їх на перший дінод. Діноди вкриті спеціальною речовиною з великим коефіцієнтом вторинної електронної емісії (фізичне явище, що полягає у випромінюванні вторинних частинок під впливом потрапляння на поверхню тіла пучка прискорених частинок). Якщо коефіцієнт вторинної електронної емісії більше одиниці, то кількість вторинних частинок буде більшою за кількість первинних. Коефіцієнт вторинної електронної емісії дінодів за певних умов збільшують внаслідок чого кількість вторинних електронів випущених першим дінодом буде перевищувати кількість фотоелектронів. Кількість вторинних електронів, випущених другим дінодом, буде перевищувати кількість вторинних електронів, випущених першим дінодом і т.д. Як підсумок кількість електронів, що досягають анода буде багатократно збільшена в порівнянні з кількістю фотоелектронів. Основними вимогами, що висуваються до сцинтиляторів, є забезпечення генерування якомога більшої кількості фотонів, що потрапляють на фотокатод, мінімальна тривалість спалаху і максимальна ефективність реєстрації частинок. Кількість генерованих сцинтилятором фотонів залежить від того, яка доля кінетичної енергії поглиненої частинки трансформується у світлову енергію. Чим більша ця доля, тим вище якість сцинтилятора. Відношення енергії світлового спалаху до поглиненої енергії частинки має назву світловихід, який зазвичай дорівнює декільком відсоткам, але в деяких випадках може сягати 35%. Для багатьох сцинтиляторів світловихід не залежить від енергії частинок. В той самий час, величина світловиходу залежить від щільності іонізації – тобто може бути різною для різних частинок. Важливою характеристикою сцинтиляторів є час висвічування спалаху. Він визначається як середній час протягом якого інтенсивність спалаху зменшиться у n разів. Механізм генерування частинкою фотонів в сцинтиляторі ще детально не вивчений і є підстави вважати, що він різний у неорганічних і органічних кристалах. Неорганічні кристали

мають кращу енергетичну роздільність і більше ефективність реєстрації γ -квантів завдяки вищій щільності і більшому ефективному заряду. Перевагою органічних сцинтиляторів є менший час висвічування.

Напівпровідникові детектори. Сцинтиляційні детектори з високою ефективністю дозволяють реєструвати нейтрони і γ -кванти, проте характеризуються низькою енергетичною роздільністю, що змусило до пошуку більш досконалих детекторів. Такими детекторами виявилися напівпровідникові. Основними напівпровідниковими матеріалами, що використовуються для виготовлення напівпровідникових детекторів є германій і кремній. Це чотиривалентні елементи, які характеризуються наявністю відомої n - p провідності – п'ятивалентні елементи є для них донорами (n -провідність), а тривалентні – акцепторами (p -провідність). Внаслідок таких особливостей напівпровідників частинка, що потрапляє до детектора, генерує приблизно у 10 разів більшу кількість носіїв заряду ніж у газах. Це забезпечує значно більшу енергетичну роздільність ніж газонаповнені іонізаційні камери або пропорційні лічильники. Для важких частинок досягнуто роздільність 1,5 кеВ при енергії частинки $E = 1,0$ МеВ та 0,45 кеВ при $E = 100$ кеВ; для рентгенівського випромінювання з енергією 6 – 10 кеВ роздільна здатність складає 0,1 кеВ. Недоліком напівпровідникових детекторів є їх невелика радіаційна стійкість. Частинка, що потрапляє до детектора, генерує не лише носії зарядів, а й створює порушення кристалічної структури (радіаційні дефекти). Працюють детектори за низької температури – 77оК, що також створює певні незручності у використанні.

Трекові детектори. Одним з перших трекових детекторів є камера Вільсона. Принцип її роботи оснований на візуалізації сконцентрованої пересиченої пари на іонах, що виникли внаслідок проходження частинки. Кожній парогазовій суміші відповідає певна концентрація пари, яка залежить від тиску і температури. Тиск p , об'єм V і температура T пов'язані між собою у відповідності до закону Клайперона

$$pV = \mu RT/M$$

де R – газова стала;

M – грам-молекулярна маса.

Якщо в умовах насиченої пари різко знизити температуру, то пара виявиться перенасиченою. Такий стан парогазової суміші є

нестійким і надлишкова маса пари буде конденсуватися. Конденсація в першу чергу виникає в центрах конденсації, якими слугують часточки пилу, іони і т.і. Якщо досягнуте необхідне перенасичення і до об'єму потрапляє заряджена частинка, то вона створить вздовж треку центри конденсації. На початку конденсації виникають краплі майже не видимі (до см), проте по мірі просування їх розмір збільшується до 10-3 см і трек стає помітним. Коли вони досягнуть необхідних розмірів трек фотографують.

На підставі фотографії визначають довжину треку і енергію частинки (якщо пробіг повністю укладається в об'ємі камери). Також можна визначити кутовий розподіл розсіяних частинок. Найістотнішим недоліком камери Вільсона є незначний час реєстрації частинок. Цей недолік відсутній у дифузійній камері, в якій також використовується ефект перенасичення, що виникає за рахунок перепаду температур у двох частинах камери – у верхній рідина випаровується за високої температури, в нижній – охолоджується до 40-70°C. Ступінь пересичення пари зростає за рахунок її дифузії в напрямку до нижньої частини камери і виникає зона перенасичення (до 10 см завтовшки), яка знаходиться протягом тривалого часу в стані динамічної рівноваги. Виявлення частинок в дифузійній камері аналогічне камері Вільсона. Високою ефективністю характеризується пухирцева камера, в якій для реєстрації частинок використовується закипання перегрітої рідини вздовж треку частинки. До числа найчастіше використовуваних трекових детекторів відносяться ядерні фотоемульсії. Вони складаються з дрібних часток азотнокислого срібла розподілених в желатиновій емульсії зі щільністю значно вищою ніж у звичайних фотопластинок і фотоплівки. Проходження заряджених частинок в емульсії після проявлення дає видимі сліди, або треки, характеристики яких дозволяють визначити енергетичний розподіл частинок, їх масу, енергію, заряд та інші параметри. Перевагою фотоемульсій є те, що вони дають можливість безперервно накопичувати інформацію, протягом тривалого часу зберігати її, але недоліком є тривалість та складність збирання інформації. В ряді речовин розмір треку можна суттєво збільшити (до 1000 разів) за допомогою спеціальних прийомів, зокрема хімічного витравлення, після чого треки спостерігають за допомогою звичайного світлового мікроскопа. Такі детектори отримали назву твердотільних діелектричних детекторів (ТДД). Особливістю таких детекторів є те, що вони є чутливими лише до певного типу частинок

і нечутливими до інших. Наприклад, нітрат целюлози чутливий до всіх важких частинок і нечутливий до електронів, поліпропілен нечутливий до протонів і дозволяє реєструвати важкі частинки починаючи з α -частинок. Саме за допомогою твердотільних діелектричних детекторів було зареєстровано новий тип розпаду з випусканням важкими ядрами ^{14}C на фоні інтенсивного α -розпаду.

2. Захист від іонізуючого випромінювання

Розміщення підприємств і лабораторій, призначених для роботи з діоактивними 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-захистна зона і зона моніторингу. Для підприємств атомної промисловості та ядерної енергетики санітарно-захистні зони встановлюються спеціальними нормативними актами. У цих зонах забороняється розміщення дитячих закладів, лікарень, санаторій та інших оздоровчих закладів. Використання земель санітарно-захистних 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 випромінення: фартухи і рукавиці із просвинцьованої гуми, просвинцьоване скло, ширми, бокси тощо. Захист від зовнішнього γ -випромінення може забезпечуватись скороченням часу безпосередньої роботи з джерелами випромінення, застосуванням захисних екранів, що поглинають випромінення, 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 -опроміненя використовують екрани з металів з великою атомною масою, наприклад, свинець, чугун 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.).

Товщину екранів визначають за шарами половинного послаблення. Шар половинного послаблення – це товщина будь-якої речовини, яка вдвічі знижує дозу проникаючої радіації. Товщину захисного екрану розраховують за кратністю послаблення дози. Підраховавши дозу без захисту і визначивши кратність перевищення дози, проводять розрахунок послаблення дози до гранично допустимого рівня, використовуючи для цього показник шару половинного послаблення. При розрахунках товщини шару половинного послаблення слід урахувати, що він залежить від

енергії випромінення. Так, при енергії γ -квантів, яка дорівнює 0,2 МеВ; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 і 20 МеВ шар половинного послаблення для свинцю буде - відповідно 0,2 см; 0,4; 0,7; 1,0; 1,7; 2,0 см. Захист відстанню проводять за допомогою пристрою для дистанційної роботи з радіоактивною речовиною (дистанційні інструменти, подовжувачі, маніпулятори і т.п.). Даний спосіб є досить ефективним, оскільки при збільшенні відстані від джерел іонізуючого випромінювання у 2 рази доза зменшується в 4 рази і т.д. Використовуючи закон зворотних квадратів, можна визначити відстань, що безпечна для роботи з радіоактивною речовиною за наступною формулою:

$$R = DR / D,$$

де D - відома доза, виміряна на відстані R , D - ГДД за добу ($7 \cdot 10^{-3} R$), R - шукана безпечна відстань, см.

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 випромінення, 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 способи захисту можна застосовувати окремо або в різних комбінаціях, але так, щоб дози зовнішнього фотонного опромінення осіб категорії А не перевищували 7 мР/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 приточне 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.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 5

РАДІОБІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ І ПІСЛЯРАДІАЦІЙНЕ ВИПРОБУВАННЯ ОРГАНІЗМУ

- 1. Біологічна дія різних видів радіації.
Закон Бергоньє-Трибонто**
- 2. Модифікація радіобіологічних ефектів**
- 3. Дія малих доз іонізуючого випромінювання**
- 4. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах**

1. Біологічна дія різних видів радіації. Закон Бергоньє-Трибонто

У результаті дії іонізуючого випромінювання на організм людини в тканинах можуть виникати складні фізичні, хімічні та біологічні процеси. В залежності від поглинутої дози випромінювання та індивідуальних особливостей організму викликані зміни можуть носити зворотний або незворотний характер.

Для біологічної дії іонізуючого випромінювання характерні ряд загальних закономірностей. По-перше, глибокі ураження життєдіяльності здійснюються дуже малою кількістю поглинутої енергії. Так, енергія, що поглинута тілом ссавців або людини при опроміненні летальною дозою, при перетворенні її в теплову, призвела б лише до нагріву на тисячну долю градуса. По-друге, біологічна дія іонізуючого випромінювання не обмежується ураженням опроміненого організму, ураження поширюється на наступні покоління, що пояснюється дією на генетичний апарат організму. По-третє, для біологічної дії іонізуючого опромінення характерна наявність летального періоду, тобто розвиток променевого ураження спостерігається не зразу. Тривалість летального періоду може бути від декількох хвилин до десятків років у залежності від дози опромінення, радіочутливості організму і функції, що спостерігається. Біологічна дія радіації – структурні і функціональні зміни біологічних систем, що обумовлюються іонізуючим випромінюванням. Біологічна дія радіації обумовлюється радіаційно-хімічними ураженнями молекул (руйнування хімічних зв'язків), які входять до складу клітини, а також іонізацією або

збудженням молекул. У клітинах виникають активні гідроксиди (ОН-), вільні радикали органічних молекул. З появою цих активних форм молекул розвиваються вторинні механізми радіаційного ураження клітин, що виражається порушенням властивостей структур клітини, процесів обміну речовин і фізіологічних функцій організму, швидкістю виділення з організму. Наступні біохімічні процеси променевого ураження розвиваються повільніше. Активні радикали, що утворилися, порушують нормальні ферментативні процеси в клітині, що веде до зменшення кількості макроенергетичних сполук. Особливо чутлива до опромінення ДНК в клітинах, які інтенсивно діляться. Іонізуюче опромінення обумовлює ураження клітин: порушується мітоз, набухання і пікноз ядра, потім структура ядра зникає, в цитоплазмі спостерігається зміна в'язкості, набухання цитоплазматичних структур, утворення вакуолю, підвищується проникливість. Вплив на організм значної дози іонізуючої радіації зумовлює різке зростання темпу окислювальних процесів, швидке накопичення токсичних продуктів (ліпідних та хіноїдних радіотоксинів) і, врешті розвиток тяжкої форми гострої променевої хвороби. Зміни в клітинах під впливом радіації ведуть до ураження тканин, органів і життєдіяльності всього організму. Першою реагує на опромінення нервова система. Особливо виражена реакція тканин, в яких окремі клітини живуть порівняно недовго система крові, слизова оболонка травного тракту тощо). Одночасно знижується продукування антитіл, що ще більше ослаблює захистні сили організму. Уражаються залози внутрішньої секреції, порушується гаметогенез.

Вплив радіації на організм залежить від фізичних властивостей радіонукліда, типу і енергії випромінювання, дози, форми сполуки, що вводиться, шляхів і ритму надходження, особливостей розподілу, ефективного періоду напіврозпаду, що визначає тривалість променевої дії, фізіологічних і генетичних особливостей організму. У залежності від перерахованих факторів один і той же радіонуклід може, наприклад, значно скорочувати природну тривалість життя виду, або помітно не впливати чи навіть її подовжувати порівняно з адекватним контролем.

Ефективність різних видів радіації визначається просторовим розподілом первинних біофізичних подій, що обумовлюють кінцевий біологічний ефект. Біологічну дію радіації умовно можна поділити на:

1. первинні фізико-хімічні процеси, що виникають у молекулах живих клітин і субстратах, що їх оточують;
2. порушення функцій організму як наслідок первинних процесів.

Оскільки, наприклад, в організмі людини основну масу тіла становить вода (біля 75%), то первинні процеси значною мірою визначаються поглинанням радіації водою клітин, іонізацією молекул води з утворенням високоактивних у хімічному відношенні вільних радикалів та наступними ланцюговими реакціями (головним чином окислення цими радикалами молекул білків). Це непряма дія радіації. А пряма дія радіації може обумовити розщеплення молекул білків і молекул нуклеїнових кислот, розрив найменш слабких зв'язків, відрив радикалів та інші денуративні зміни. Потім під дією первинних процесів у клітинах виникають функціональні зміни, від яких залежать біологічні закони життя і загибель клітин. Загибель клітин обумовлює функціональні зміни тканин, а зміни в тканинах – зміни в органах, що обумовлює порушення процесів організму або його загибель.

Найбільш суттєвими змінами в опромінених клітинах можуть бути наступні:

- ураження механізму мітозу (ділення) і хромосомного апарату;
- блокування процесів поновлення і диференцировки клітин;
- блокування процесів проліферації і наступної фізіологічної регенерації тканин.

Процеси обміну речовин і енергії являють собою матеріальну основу всіх змін, що відбуваються в організмі. Радіація значною мірою впливає на ці процеси. У результаті досліджень біологічної дії радіації на сім'яники щурів французькі вчені Брегоньє та Трибонто в 1906 році зробили перше фундаментальне узагальнення і сформулювали закон, що найвищою радіочутливістю характеризуються клітини, котрі перебувають у стані активної проліферації, що супроводжується підвищенням напруженості метаболічних процесів. Отже, рівень радіочутливості чи радіостійкості визначається не типом клітин, а їхньою проліферативною активністю. Чим вища проліферативна активність клітин, тим вища їхня радіочутливість. Наприклад, високою проліферативною активністю характеризуються стовбурні клітини кісткового мозку, меристема рослин, тому і радіочутливість їх дуже висока.

Радіочутливість тканин прямо пропорційна її мітотичній активності та обернено пропорційна ступеню диференціювання клітин, з яких вона утворена. Так, у ссавців печінка, м'язи, мозок, кістки, хрящі та сполучна тканина відносяться до резистентних, а кістковий мозок, генеративні клітини, епітелій кишківника та шкіри є високо радіо чутливими.

Закон Бергоньє-Трибонто відповідає зв'язку незворотних змін росту і розвитку окремих частин організму з їх енергією росту і факторами зовнішнього середовища, виявленого М.П. Чирвинським (1888) та А.А. Малігоновим (1925) – ті частини організму, які в даний період мають найвищу інтенсивність росту і розвитку найбільш чутливі до факторів зовнішнього середовища, в тому числі й до радіації.

2. Модифікація радіобіологічних ефектів

Поняття модифікації променевого ураження є широким за змістом, охоплює коло найрізноманітніших ефектів. Складність та різноманітність процесів, що мають місце між початковим поглинанням радіаційної енергії та кінцевим проявом біологічного ураження, обумовлюють можливість багато чисельних модифікацій. Різні фізичні (кількість дози, температура тощо), хімічні сенсibilізатори, протектори) та біологічні (клітинні цикли, проліферативна активність тощо) фактори можуть модифікувати радіаційні ефекти. Під впливом певних модифікаторів ультраструктурні мішені клітини можуть переходити у такий стан, коли їх ураження внаслідок опромінення буде більшим або меншим порівняно з біологічними об'єктами, які не зазнали дії модифікаторів. Отже, за характером розрізняють позитивну й негативну модифікацію променевого ураження.

Модифікацію променевого ураження можна розглядати на молекулярному, клітинному, тканинному, органному, системи органів, популяційному і біоценозному рівнях. Коли модифікаційні впливи виявляються ефективними лише за умови їх наявності в момент опромінення, то, очевидно, механізм їхньої дії пов'язаний із впливом на радіаційно-хімічні реакції. Коли модифікаційний ефект виявляється після опромінення, то це, очевидно, пов'язано зі змінами процесів репарації і розвитку опроміненого об'єкту.

За своєю природою модифікаційні фактори можуть бути наступними: - Фізичні. Вони пов'язані власне з характером опромінення. До них можна віднести фізичні поля, під дією яких змінюється розвиток променевого ураження різної природи. Звичайно фізичними модифікаторами є температура, фотомодифікація, малі дози радіації, вологість, тиск тощо.

Хімічні. До них можна віднести речовини, під впливом яких змінюється інтенсивність прояву радіобіологічних реакцій. Біологічні. До таких модифікаторів можна віднести фази мітотичного ділення, функціональну здатність системи репарації, проліферативну активність клітин, генетичні фактори, вік, фізіологічний і клінічний стан організму, здатність клітин нагромаджувати продукти метаболізму, що виявляють властивості радіомодифікаторів.

Як правило всі ці фактори (фізичні, хімічні, біологічні) діють паралельно і проявляються у комплексі. Цим певною мірою можна пояснювати явища синергізму (невідповідності незалежної дії суми ефектів реальному ефекту дії радіації на біологічний об'єкт).

Всі модифікатори за ефектом і часом впливу можна поділити на групи:

- профілактичні – ефект їхнього впливу здійснюється до опромінення;
- пострадіаційні – ефект їхнього впливу здійснюється після опромінення;
- терапевтичні – ті, що ослаблюють прояв радіобіологічного ефекту.

3. Дія малих доз іонізуючого випромінювання

Дію іонізуючого випромінювання на живі організми поділяється на кілька етапів, що здійснюються на різних рівнях, зокрема, на атомарному (іонізація і збудження) і молекулярному. Це фізико-хімічний етап іонізуючого впливу на живий організм. Після цього починається біологічний етап іонізуючої дії, що починається з порушення обміну речовин, гальмується активність ферментних систем, утворюються нові хімічні сполуки, що можуть бути токсичними для організму.

Дози радіації, що відповідають природному фонові, не шкідливі для життєдіяльності переважної більшості організмів та їхнього потомства. Проте, навіть природний рівень випромінювання в окремих випадках може спричинити шкідливі мутації. З підвищенням дози іонізуючої радіації імовірність виникнення таких змін зростає.

Збільшення обсягів використання радіоактивних матеріалів у різних галузях техніки і суспільного життя, нагромадження ядерних відходів атомних реакторів різного призначення незмінно супроводжуватимуться зростанням опромінення, особливо у малих дозах, дедалі більшого контингенту населення, всіх представників біоти планети.

До нині чітко не визначено, які дози слід вважати малими, спостерігається розбіжність у кількісних значеннях доз, котрі відносять до малих. Найчастіше під малими розуміють дози, кількісні значення яких не більше, ніж на один-два порядки перевищують значення доз, що зумовлені природним рівнем опромінення. Природні дози опромінення характеризуються потужностями порядку 0,1...0,4 сГр/рік, отже малі дози становлять 1...40 сГр. Це відповідає рекомендаціям Наукового комітету з дії атомної радіації (НКДАР).

При поглиненні білками високих доз радіації (100 Гр і більше) змінюється конформація (геометричні форми молекул) білкових молекул, відбувається їх агрегація (з'єднання, збирання в ціле) та деструкція (руйнування). При опроміненні дозами до 50 Гр знижується концентрація амінокислот, особливо триптофану, що сповільнює синтез білка.

Ферментні системи реагують на опромінення по різному: їхня активність може зростати, знижуватися або залишатися незмінною, а при великих дозах – вони інактивуються. Опромінення високими дозами розчину простих цукрів спричинює їхнє окислення і розпад, а поліцукрів – зменшує в'язкість і розпад на прості цукри.

Малі дози опромінення володіють кумулятивним ефектом, тобто вони можуть накопичуватися і підсумовуватися в організмі. Малі дози радіації володіють генетичним ефектом, тобто впливом не лише на організм, який опромінюється, але і на його потомство.

Одноразове опромінення великими дозами викликає більш глибокі наслідки, ніж порційне. Іноді вважають, що малі дози іонізуючого випромінювання відповідають значенням, які на два або більше порядків менші за летальні. У клінічній практиці під малими розуміють дози 0,5...1,0 Гр, під впливом яких не виявляються ефекти ураження. Іноді малою вважають дозу, за якої починає проявлятися досліджуваний нелетальний ефект, але навіть у одній і тій же клітині рівні радіобіологічні ефекти проявляються під впливом різних доз

опромінення. Запропоновано фізичний критерій малої дози, за якої в критичній мішені відбувається в середньому не більше, ніж одна радіаційна подія – перетинання мішені треком фотона або зарядженої частинки.

Відмічені підходи відповідають умові, за якої у прояві радіобіологічного ефекту клітинної популяції ніякої ролі не відіграють міжклітинні взаємодії. Якщо ж останні мають місце у формуванні радіобіологічного ефекту, то може проявитися залежність ефекту від інактивації певної кількості клітин, і тоді потрібні відповідні корегування у визначенні малих доз опромінення. Отже, малими дозами іонізуючого опромінення є ті, за умови дії яких спостерігається радіобіологічний ефект не летального характеру.

Так само як і за великих доз опромінення, під впливом малих доз проявляються стохастичні й детерміністичні ефекти. До стохастичних (ймовірних) ефектів належать ті радіобіологічні реакції, що не мають дозового порога (хромосомні аберації, точкові мутації, трансформація клітин, втрата проліферативної активності), тобто від значення дози залежить частота їх прояву. Оскільки трансформацією клітин розпочинається пухлинне перетворення тканини, то формування злоякісних пухлин, індукованих опроміненням, також є стохастичним ефектом. Як типово стохастичні ефекти проявляються ті форми ушкоджень, котрі не піддаються інтегративним процесам. Для прояву стохастичних ефектів іноді потрібні досить тривалі проміжки часу після опромінення: первинні ушкодження ДНК можуть реалізуватись у віддалених нащадків опромінених клітин. Це свідчить про наявність латентного періоду у формуванні стохастичних ефектів опромінення. Стохастичні ефекти ґрунтуються на ймовірній природі влучень іонізуючих частинок або фотонів у певні клітинні структури-мішені.

Стохастичні ефекти або проявляються повною мірою, або взагалі не проявляються. До детерміністичних ефектів належать такі реакції, що формують адаптивну відповідь, яка має неспецифічний характер, зумовлює збільшення стійкості організму до дії несприятливих факторів різної природи (зростає стійкість до радіації, стимулюється проліферативна активність, біохімічних і фізіологічних процесів), тобто від значення дози залежить інтенсивність їх прояву. Детерміністичні радіобіологічні ефекти не мають рис, які притаманні ймовірному процесові: опромінення в певній дозі провокує радіаційне ураження відповідного рівня. За дуже малих доз

опромінення детерміністичні ефекти можуть не проявлятися, що свідчить про існування дозового порога – межі дозового навантаження, лише в разі перевищення якого проявлятиметься ефект. Значна частина детерміністичних ефектів є наслідком багатоетапних процесів розвитку радіаційного ураження. Детерміністичні процеси проявляються в тому разі, коли розвиток радіобіологічної реакції зумовлений ураженнями масових структур клітини або реакція залежить від кількості інактивованих клітин. Стохастичні й детерміністичні радіобіологічні ефекти в багатьох складних системах досить тісно пов'язані між собою, оскільки первинні процеси променевого ураження є ймовірними за своєю природою.

Радіостимуляцію рослин виявляють не лише у разі опромінення насіння, а й при опромінюванні цибулин, бульб та інших органів вегетативного розмноження. Кількісно гормезисний ефект оцінюють за збільшенням біомаси, висоти рослин або врожайності відносно неопромінених рослин. Підвищення врожаю внаслідок дії стимулюючих доз може сягати 40...60%. Регулярність прояву гормезисного ефекту в різних рослин неоднакова. Під впливом малих доз радіації спостерігається функціональне перепрограмування геному. Тригер-ефектори належать до тих систем клітини, які контролюють взаємодію ДНК з ядерним білком. Внаслідок опромінення відбуваються структурно-функціональні перебудови кластера рибосомних генів. За дії опромінювання із високими значеннями ЛПЕ радіостимуляція не спостерігається. Гормезис може проявлятися як компенсаційні ефекти соматичних реакцій у відповідь на ураження окремих груп клітин. Опромінення тварин дозами, що не перевищують 10 сГр, обумовлює прискорення оновлення тимоцитів (малих лімфоцитів; лімфоцити – одна з форм лейкоцитів, розрізняють великі, середні та малі, вони беруть участь в імуногенезі, виробляють антитіла, утворюються в лімфовузлах, селезінці залозі).

Явище гормезису не свідчить про те, що малі дози опромінення є безпечними для біологічних систем. Гормезис є проявом соматичних реакцій, і водночас із ним можуть виникати молекулярні ушкодження, внаслідок яких формуватимуться стохастичні ефекти – генетичні порушення й трансформація клітин, що можуть проявитися до 10-20 покоління, тобто протягом періоду до 500 років.

4. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах

Малі дози опромінення не викликають соматичних видимих уражень променевої хвороби, але викликають генетичні ураження. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах можуть бути наступними: Зміна експресії генів. Цей процес має вибіркового характер, оскільки після опромінення посилюється експресія не всіх генів, а лише окремих. Хромосомні перебудови. Опромінення в малих дозах обумовлює структурні перебудови хромосом лімфоцитів. Частота хромосомних аберацій у цих клітинах зростає при опроміненні в дозах понад 2 мГр/рік. Невеликі хромосомні аберації, які супроводжують опромінення в малих дозах, не завдають помітної шкоди цілістному організму рослини.

Мутагенез. Розроблено метод виявлення індукованих опроміненням мутацій, що полягає в застосуванні спеціальних маркерів імунної природи. Вплив малих доз на стан імунної системи. За дії іонізуючого опромінення в малих дозах спостерігається тенденція до зміни стану імунної системи людини, що проявляється у зменшенні чисельності Т-лімфоцитів, ослабленні фагоцитарної функції та пригніченні гормональної функції тимуса. Дані щодо впливу малих доз іонізуючого опромінювання на імунну систему мають суперечливий характер, бо спостерігається стимуляція проліферативної (лат. *proles* – потомство + *fero* – несу) активності, у розростанні тканини рослини чи тварини шляхом новоутворення клітин, зростання антитілогенезу, збільшення частки Т-хелперів відносно Т-супресорів.

За низьких потужностей поглинутих доз (порядку 1...100 мкГр) за один клітинний цикл у дрібних ссавців і риб істотно зростає частота структурних і геномних мутацій. У людини хромосомні аберації за малих доз опромінення характеризуються коефіцієнтом індукції порядку 10-2 абераційних клітин на дозу 1 Гр. У рослин цитогенетичних ушкоджень у діапазоні доз 5...30 сГр достовірно перевищує спонтанний рівень, але лінійної залежності від значення дози неспостерігається.

У разі хронічного опромінення малими дозами спостерігається порушення життєдіяльності різних видів тварин і рослин. Так, у безхребетних за умов хронічного опромінення гальмується розвиток. У тварин за малих потужностей поглинутих доз ефекти більше обумовлюються наслідками подразнення, ніж радіаційного ураження.

Соматичну патологію за таких умов пов'язують із нейрогормональною або клітинно-гуморальною системами.

Проблема біологічної дії малих доз іонізуючого випромінювання є надзвичайно важливою з огляду на необхідність достовірної оцінки малих доз для здоров'я людини й уточнення норм дозових навантажень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 6 РАДІАЦІЙНА БЕЗПЕКА І ЗАХИСТ»

- 1. Принципи радіаційної безпеки.**
- 2. Протирадіаційні засоби**

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 хвороби чи фізичних вад.

Згідно резолюції Генеральної Асамблеї ООН кожна людина на планеті має право на охорону здоров'я. 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, променевій 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-схоластичного 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 агенство 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 Чорнобильської 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);
- неперевищення (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 при умові 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 встановити 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 злякисних 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 злякисних пухлин зростає на 5%, а прояв генетичних дефектів – на 0,4%.

2. Протирадіаційні засоби

Введення деяких речовин в організм тварин і людини зменшує уражальну дію радіації. Ці речовини називають радіозахистними, або протирадіаційні. Умовно їх поділяють на чотири групи:

- радіоблокатори;
- радіопротектори;
- радіодекорпоранти;
- ростові фактори;

Перші дві групи відносять до засобів профілактичної дії, а дві останні – до терапевтичної дії.

Радіоблокатори – речовини, які зменшують надходження в організм радіонуклідів. Захист від ^{90}Sr і ^{137}Cs за допомогою механізмів блокування

будується за принципом збільшення надходження в організм речовин, які є їхніми хімічними аналогами. Як у ґрунті, так і в організмі, чим більше надійде кальцію, тим менше буде ^{90}Sr ; чим більше калію, тим менше ^{137}Cs . При цьому не йдеться про мінеральні сполуки кальцію, калію, фосфору, якими рекомендується збагачувати ґрунт і додавати в раціон тварин як мінеральні добавки. Основним джерелом кальцію для організму людини є молоко і молочні продукти. Але ж молоко є основним джерелом надходження радіонуклідів. Без молока і молочних продуктів не можуть обійтися насамперед діти. Тому при цьому слід використовувати сметану сири, вершки, які містять менше радіонуклідів, ніж молоко. Але й незбиране молоко, молочнокислі продукти теж повинні бути в раціоні дітей, оскільки з відвійками і сироваткою видаляються деякі корисні для організму незамінні біологічно важливі речовини. Багатими на кальцій є бобові культури – квасоля, горох, соя, боби. Досить багато його містять деякі види плодових і ягідних культур родини розоцвітних: яблуна, груша, слива, вишня, абрикос, малина, суниця. Основним джерелом калію для організму є також овочі і фрукти: картопля, столові буряки, капуста, овочевий перець, гречка, кукурудза, соняшник та інші. Споживаючи їх, людина створює певний бар'єр надходженню ^{137}Cs . Багаті на калій виноград і абрикоси. Багаті на калій виноградні вина, але вони мають кислу реакцію, а в такому середовищі підвищується рухомість радіонуклідів і їх всмоктування у шлунково-кишковому тракті. Тому краще як радіоблокатори використовувати виноград (особливо червоний), виноградний сік, родзинки.

Радіопротектори – речовини, які при введенні в організм зменшують уражувальну дію іонізуючого випромінювання, тобто підвищують стійкість до дії гамма-квантів, альфа- і бета-частинок та інших видів іонізуючої радіації. Нині відомі радіопротектори, які зменшують уражувальну дію випромінювання майже удвічі, але переважно в умовах гострого опромінення, тобто коли доза одержується одноразово за секунди, хвилини. За хронічного опромінення, коли доза формується роками, більшість таких речовин неефективні у зв'язку з їхньою низькою стабільністю. Основна маса клітин живих організмів більш як на 90% складається з води. При дії іонізуючої радіації відбувається її радіоліз і утворюються хімічно активні продукти – вільні радикали і перекиси, які мають високий окислювальний потенціал і вступають у взаємодію з ДНК. Тобто в клітинах при дії радіації відбуваються окислювальні процеси. І механізм захистної дії більшості радіопротекторів базується саме на їхніх протилежних властивостях – здатності до відновлення. Такі радіопротектори “перехоплюють” продукти радіолізу води, не даючи їм взаємодіяти з ДНК.

В організмі ці радіопротектори мають дуже велику активність, швидко окислюються і втрачають свою дію. Ось чому за тривалого хронічного опромінення вони неефективні. Окрім того, багато з них токсичні для організму, що не дозволяє їх вживати постійно.

Високими відновлювальними властивостями володіють деякі природні речовини, зокрема вітаміни А, С, Е, U. Хоча, вживаючи вітаміни у високих кількостях у формі концентрованих фармакологічних препаратів, можна заподіяти шкоду організмові. У медицині відоме явище гіпервітамінозу, або інтоксикації, що спричиняється високими дозами вітамінів.

Основні джерела надходження вітамінів до організму людини наступні:

- Вітаміну А (ретинолу) – каротин рослин, червона морква, шпинат, обліпіха, смородина, горобина, помідори, гарбузи. Каротин є жиророзчинною речовиною і краще засвоюється організмом у супроводі жирів. Тому, наприклад, терту моркву корисніше споживати з олією чи сметаною. Вітамін А міститься в сметані, маслі, яєчному жовтку, печінці.
- Вітамін С (аскорбінова кислота) – свіжі овочі, фрукти, ягоди. Особливо багаті на вітамін С шипшине, смородина, грецький горіх, цибуля, овочевий перець тощо.

- Вітамін Е (токоферол) – салат, м'ята, цикорій, листова гірчиця. Але найбільші його кількості містять рослинні олії.
- Вітамін U (метилметіонін) – капуста, шпинат, селері.

Радіопротекторні властивості в умовах хронічного опромінення проявляють також деякі метали-мікроелементи, зокрема залізо, цинк, селен, марганець, кобальт. Всі вони належать до групи так званих важких металів, надмірна кількість яких в організмі може призводити до отруєть. Але в невеликих кількостях вони необхідні живим організмам для здійснення багатьох біологічних функцій. Механізм радіопротекторної дії металів повністю не вивчено (І.М. Гудков, 2005). Припускається, що вони підвищують стійкість до радіації молекули ДНК шляхом стабілізації її структури; підвищують міцність мембран; збагачують металомісткими ферментами, деякі з котрих сприяють підвищенню механізмів неспецифічної стійкості організму до несприятливих чинників, у тому числі й іонізуючих випромінювань. Заліза багато буряках, квасолі, цибулі, салаті, огірках, ячмені, яблуках. На цинк багаті квасоля, кукурудза, цибуля, буряки. Селен накопичується у редьці, капусті, редисці. Марганцю багато у буряках, квасолі, цибулі, моркві, кукурудзі, томатах, салаті. Кобальту багато в капусті, салаті, огірках, картоплі, томатах. Радіопротектори, постійно надходячи в організм людини у вигляді природних сполук, забезпечують певний рівень радіорезистентності, в умовах якого ступінь радіаційного ураження зменшується. Вони значно менш ефективні при гострому опроміненні, особливо у великих дозах, ніж синтетичні хімічні сполуки. Але багато з них мають такі переваги, як нетоксичність чи слабка токсичність і пов'язана з цим здатність забезпечувати тривалу протирадіаційну дію, в тому числі і шляхом систематичного або періодичного введення в організм.

Радіодекорпоранти – речовини, які прискорюють виведення радіонуклідів з організму. Відомі як природні, так і синтетичні препарати, які здатні прискорити цей процес. Природні називають ентеросорбентами, чи просто сорбентами. Вони здатні більш-менш вибірково поглинати радіоактивні речовини та разом з продуктами обміну виводити їх з організму. Найпростішим з них є активоване вугілля. Другі – це комплекси, теж деякі природні речовини і штучні препарати, які можуть утворювати із стронцієм і цезієм міцні, однак добре розчинні у воді сполуки, котрі, беручи участь в обміні речовин, прискорюють їхнє виведення. З природних речовин такі

властивості, зокрема, має антоціан (пігмент, що надає рослинам, квіткам, плодам характерного фіолетового, синього, коричневого кольору). Антоціану багато в смородині, темноплідних сортах винограду, чорноплідній горобині, ожині, шовковиці (але в буряках він відсутній). Здатністю прискорювати виведення радіоактивних речовин з організму мають альгірати – продукти морських бурих водоростей та хімічно подібні їм пектинові речовини, яких багато в яблуках, айві, гарбузах, буряках, моркві, різні чаї (зелений, квітково-трав'яні).

Ростові фактори – велика кількість неспецифічних речовин, які стимулюють метаболізм, прискорюють поділ клітин, активують процеси відновлення, сприяють дезактивації токсичних продуктів та прискорюють їхнє виведення з організму. Всьому цьому сприяє здоровий спосіб життя, раціональне харчування, багате на білки як тваринного, так і рослинного походження, вітаміни.

Радіаційна безпека, протирадіаційний захист людини – це складний комплекс заходів, спрямованих на зменшення надходження радіоактивних речовин в організм, зниження уражувальної дії їхніх іонізуючих випромінювань, виведення радіоактивних речовин з організму, створення оптимальних умов для процесів росту і розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 7

Атомна енергетика та її вплив на довкілля

- 1. Виробництво ядерної енергії**
- 2. Міжнародна шкала подій на АЕС**
- 3. Особливості аварій на АЕС**

1. Виробництво ядерної енергії

Приблизно половина всієї енергії, що виробляється в Україні, припадає на частку атомних електростанцій (АЕС). За кількістю електричної енергії, що виробляється на (АЕС) Україна посідає п'яте місце в Європі після Франції, Великобританії, Росії та Германії.

Атомна галузь відіграє значну роль в економіці України. Частка АЕС в енергетичній промисловості України становить понад 24%. За кількістю діючих ядерних реакторів та їх сумарною потужністю Україна посідає восьме місце у світі та п'яте в Європі.

На сьогодні в Україні експлуатуються 15 блоків на чотирьох діючих АЕС та 2 дослідницьких реактори у наукових установах Києва та Севастополя.

Перший та другий блоки Чорнобильської АЕС (реатор типу РБМК) зупинені у 1996 році, а третій блок – у 2000 році.

У сучасних ядерних реакторах використовується реакція поділу, що супроводжується виділенням енергії. Властивість до поділу та самопідтримуваної ланцюгової реакції мають уран-235, уран-233, плутоній-239, плутоній-241 та інші нукліди трансуранових елементів з парним атомним номером та непарним значенням маси.

Для забезпечення роботи АЕС необхідне добування уранової руди, подрібнення й видобування з неї урану, переробка його в збагачене ядерне паливо, виготовлення паливних елементів (ТВЕЛів) і використання їх у ядерних реакторах, переробка і поховання радіоактивних відходів.

Зазначені стадії входять у так званий ядерний паливний цикл (ЯПЦ). До них додається також транспортування радіоактивних матеріалів для забезпечення всіх цих стадій.

Уранова промисловість займається видобуванням, переробкою, збагаченням урану і виробництвом ядерного палива. Радіохімічна

промисловість займається переробкою ядерного палива. Відпрацьовані ТВЕЛі надходять на підприємство регенерації, де відбувається виділення урану і плутонію, а також продуктів поділу урану, які надалі можуть бути використані як джерела випромінювання.

На кожному з цих етапів можливе забруднення навколишнього середовища.

Уран — це основний енергоносіє ядерної енергетики, що виробляє близько 20% світової електроенергії. Уранова промисловість охоплює всі стадії виробництва урану, включаючи розвідку родовищ, їх розроблення й збагачення руди. Переробку урану в паливо для реакторів можна розглядати як галузь уранової промисловості.

Загальносвітові надійно розвідані ресурси урану, який можна було б виділити з руди за собівартістю не вище 100 дол. за кілограм, оцінюються приблизно в 3,3 млрд кг U_3O_8 . Приблизно 20% з них припадає на Австралію, за якою ідуть США (близько 0,45 млрд кг U_3O_8). Значними ресурсами для виробництва урану володіють ПАР і Канада.

Основні етапи виробництва урану – це видобуток руди підземним або відкритим способом, збагачення (сортування) руди й видобування урану з руди шляхом вилуговування.

Видобування урану. На руднику уранову руду видобувають із гірського масиву буро-вибуховим способом, сортують і подрібнюють, а потім переводять у розчин сильної кислоти або в лужний розчин. Розчин, що містить уран, відокремлюють від нерозчинених частинок, концентрують і очищують сорбцією на іонообмінних смолах або екстракцією органічними розчинниками. Потім концентрат, як правило, у формі оксиду U_3O_8 , який називається жовтий кек, осаджують із розчину, сушать і укладають у сталеві ємності місткістю близько 1000 л.

Для видобування урану з пористих руд осадового походження часто застосовується метод вилуговування на місці. По шпаринах, пробурених у рудному тілі, безупинно проганяють лужний або кислий розчин. Цей розчин з ураном, що перейшов до нього, концентрують і очищають, а потім з нього осадженням одержують жовтий кек.

Концентрат природного урану — жовтий кек — це вихідний компонент ядерного паливного циклу. Для перетворення природного

урану в паливо, що відповідає вимогам ядерного реактора, потрібні ще три етапи: перетворення в UF_6 (тверда речовина, що займається при кімнатній температурі й нормальному тиску, при підвищеному тиску – плавиться), збагачення урану й виготовлення тепловиділяючих елементів (ТВЕЛів).

П'ять найбільших виробників урану (Канада, Росія, Нігер, Казахстан і Узбекистан) разом можуть давати 65 тис. т UF_6 на рік.

Забруднення навколишнього середовища починається вже на цьому етапі. Опромінення населення, що проживає поблизу уранових рудників і гідрометалургійних заводів пов'язане із впливом урану та дочірніх продуктів його розпаду (в основному - радону). Основним джерелом радіоактивного забруднення є відходи при переробці руди, які зберігаються у хвостосховищах.

Збагачення урану. На наступному етапі ядерного паливного циклу підвищується вміст ^{235}U в UF_6 . Природний уран складається із трьох ізотопів: уран-238 (99,28%), уран-235 (0,71%) і уран-234 (0,01%). Для реакції поділу в ядерному реакторі необхідний більш високий вміст ізотопу U-235. Збагачення урану здійснюється двома основними методами поділу ізотопів: газодифузійним методом і методом газового центрифугування.

Виготовлення твелів. Із збагаченого UF_6 шляхом гідролізу отримують UO_2F_2 , який обробляють гідроксидом амонію. В осад випадає диуранат амонію, який відфільтровують та обпалюють, отримуючи UO_2 . Його пресують і спекають у вигляді невеликих керамічних таблеток. Таблетки вкладають у трубки із цирконієвого сплаву і одержують паливні стрижні, (ТВЕЛи), які з'єднують приблизно по 200 штук у закінчені паливні складові, готові для використання на АЕС.

У реактор типу ВВЕР завантажуються близько 70 т таких ТВЕЛів (а у РБМК – близько 180 т), які згодом перетворюються на високорадіоактивні відходи.

Переробка ядерного палива. Відпрацьоване ядерне паливо дуже радіоактивне й вимагає особливих запобіжних заходів при зберіганні й видаленні у відходи. В принципі, його можна переробити, відокремивши продукти розподілу від залишків урану й плутонію, які повторно можуть служити ядерним паливом. Але така переробка дорого коштує, й відповідні комерційні підприємства є лише в деяких країнах, наприклад, у Франції й Великобританії.

Схема переробки відходів на радіохімічному заводі включає такі стадії: зберігання відходів у рідкій формі для зниження залишкового тепловиділення; твердження рідких відходів і тимчасове зберігання у контрольованих умовах (сталий тиск, температура, вологість); остаточне поховання затверділих відходів у стабільних геологічних формаціях, за які можна використовувати глибокі гранітні чи сольові шахти.

Даний етап є найбільш радіаційно небезпечним у всьому ЯПЦ. Більша частина радіонуклідів, що надходить в атмосферу, розсіюється поблизу радіохімічного заводу (вже на відстані 20 км доза зменшується у 10 разів). Однак радіонукліди, для яких характерний високий ступінь міграції (^{14}C , ^{85}Kr , ^3H , ^{129}I), розсіюються на великих відстанях за відносно короткий час.

Найбільшу небезпеку при витримуванні відходів упродовж 10-600 років становлять ^{137}Cs та ^{90}Sr , але починаючи з 300-400 років головну небезпеку становлять актиноїди, що містяться у відходах ^{241}Am , ^{243}Am , ^{237}Np , ^{239}Pu . Через наявність трансуранових елементів необхідна надійна ізоляція відходів на тривалий час.

Виробництво енергії на АЕС. Це основна стадія ЯПЦ. Ця ланка значно виділяється у всьому циклі з точки зору проблем забезпечення радіаційної безпеки населення.

У результаті роботи АЕС утворюються радіоактивні відходи трьох типів: газоаерозольні, рідкі й тверді. У навколишнє середовище викидаються (після проходження систем очищення) тільки газоподібні і частково аерозольні й рідкі відходи. Тверді відходи зберігаються на майданчику АЕС, а далі відправляються на поховання.

Значний вклад у забруднення біосфери вносять такі довгоіснуючі радіонукліди, як вуглець-14, криптон-85, тритій і йод-129, що містяться в газоаерозольних викидах.

Населення, яке проживає в зоні 1-10 км від АЕС, одержує ефективні дози, у 1000 разів більші, ніж за рахунок природного радіаційного фону, тому середню ефективну дозу опромінення при нормально працюючій АЕС можна взяти такою, що дорівнює 0,001 мЗв/рік.

2. Міжнародна шкала подій на АЕС

Серед надзвичайних ситуацій особливе місце посідають аварії з викидом радіоактивних речовин. Радіоактивне забруднення

місцевості викликає необхідність термінової евакуації населення, промислових підприємств, проведення заходів з дезактивації, що потребують значних затрат, може призвести до численних жертв і захворювань серед населення.

На цей час аварії з викидом радіоактивних речовин можливі на всіх етапах ядерного паливного циклу.

З метою систематизації радіаційних наслідків аварій на АЕС і формування єдиного підходу і їх класифікації в МАГАТЕ розроблені відповідні рекомендації. Ці рекомендації вводять шкалу аварій різного типу і подій на АЕС на підставі кількісної характеристики одного з основних параметрів аварії - значення радіоактивного викиду в навколишнє середовище. Роль визначального радіонукліда виконує ^{131}I . Відповідно до запропонованої шкали розрізняють 8 типів аварій і подій на АЕС.

Відлік починається з нульового рівня, куди відносять події, що не мають істотного значення для безпеки.

До 1-3-го рівнів належать події або інциденти незначної, середньої і серйозної тяжкості, що не мають радіаційних наслідків для населення, тобто без викиду радіоактивних речовин.

Події з 4-го по 7-й рівень - це аварії з викидами радіоактивних речовин у межах АЕС, з ризиком для навколишнього середовища, важкі й глобальні, тобто такі, що порушують територію більше ніж однієї країни. Ймовірність катастрофічних аварій на АЕС становить один випадок на 10 років.

Усього за час існування атомної енергетики зареєстровано понад 800 подій на АЕС різної складності і з різними наслідками, аварій з викидом радіоактивних речовин зафіксовано 296. Щорічно у світі відбувається в середньому 45 пожеж на АЕС. Особливі умови радіоактивного забруднення виникають при аваріях на атомних підводних човнах. У разі аварії на космічних об'єктах радіоактивні продукти розсіюються на величезній території.

3. Особливості аварій на АЕС

Наслідки аварії на АЕС характеризуються такими показниками:

1. Склад аварійного викиду продуктів ядерного поділу: чим більше часу працюватиме ядерний реактор, тим більше в ньому накопичуватиметься радіонуклідів (за масою), при цьому в складі

продуктів ядерного поділу у відсотковому відношенні буде більше довгоживучих радіонуклідів.

2. Тривалість викидів радіонуклідів у навколишнє середовище. Викид триває до моменту повної герметизації зруйнованого реактора.

3. Розмір і конфігурація зони зараження. Напрямо поширення радіоактивної хмари залежить від напрямку вітру.

Аварія на Чорнобильській АЕС

Загальна характеристика АЕС. Чорнобильська АЕС розташована за 18 км від міста районного значення Чорнобиль Київської області на березі р. Прип'яті, що впадає в р. Дніпро (150 км на північ від м. Києва). За своїм рельєфом, кліматом, рослинним покривом район аварії належить до Білорусько-Українського Полісся.

Рельєф являє собою пологохвилясту рівнину з великими масивами лісів і боліт, розчленовану річковими долинами. Ґрунти піщані, супіщані, у заплавах рік – торф'яні, у сухому стані порожать. Товщина родючого шару - 10-15 см.

Гідрографічна обстановка визначається наявністю великих водних басейнів: р.Дніпро, р.Прип'ять, Київське водоймище. Водоносний обрій, який використовується для господарсько-питного водопостачання, перебуває на глибині 10-15 м щодо рівня р. Прип'яті.

Переважні вітри - західні й північно-західні, зі швидкістю 3-5 м/с. Але 26 квітня 1986 року при аварії мали місце аномальні явища: панували слабкі східні й південні вітри (напрямок 100-180° на висоті 0-6 км). Це обумовило зону близьких випадань аерозолів у північно-західному й північно-східному напрямках.

Загальна чисельність населення у 30-кілометровій зоні навколо АЕС була понад 100 тис. осіб (середня щільність населення - 70 осіб/км²). Близько 50 тис. осіб проживали в м. Прип'яті, більше 12 тис. осіб – у м. Чорнобилі. Обслуговуючий персонал АЕС нараховував близько 6,5 тис. осіб.

Будівництво Чорнобильської АЕС було почато в січні 1970 року. На момент аварії в експлуатації перебували 4 енергоблоки першої й другої черги. 3-й і 4-й енергоблоки - це друге покоління атомних станцій цього типу й на відміну від 1-го й 2-го енергоблоків розташовувалися не окремо один від одного, а в окремому будинку, тобто розділялися тільки внутрішніми стінами й службовими приміщеннями.

Реактор 4-го блоку був серійним, типу РБМК-1000. Це реактор на теплових нейтронах, сповільнювачем у якому є графіт,

теплоносієм є кипляча легка вода. Реактор розміщувався в наземній бетонній шахті розміром 21,6×21,6×25,6 м. Графітова кладка була укладена в циліндричний корпус товщиною 30 мм. Реактор спирався на бетонну підставу, під яким розташовувався басейн-барботер системи локалізації аварії.

Спрощено активна зона РБМК-1000 являла собою циліндр діаметром 14 м і висотою 7 м. Усередині цей циліндр був заповнений ядерним паливом і графітом.

До моменту аварії активна зона реактора 4-го енергоблоку містила 1659 касет із ТВЕЛами, 75% яких пропрацювали 600 ефективних діб. Загальна активність наближалася до граничної величини і становила 1010 Кі.

Кругообіг води в реакторі здійснювався шістьма працюючими й двома резервними головними циркуляційними насосами (ГЦН). Реактор РБМК-1000 оснащений регуляторами ланцюгової реакції, приладами системи контролю й керування.

Реактор мав також протиаварійні системи. Насамперед це система керування й захисту реактора (СУЗ). Вона забезпечувала пуск, автоматичне й ручне регулювання потужності, планову й аварійну зупинку реактора. Аварійна зупинка здійснювалася за сигналами аварійного захисту (АЗ) або при натисканні спеціальної кнопки.

У випадку розриву труб контуру багаторазової примусової циркуляції (КБПЦ), по якому проходить теплоносій, повинна включатися система аварійного охолодження реактора (САОР). Протягом 45 секунд подавати воду з гідроємностей у технологічні канали до постійної подачі води від спеціальних насосів.

Причини аварії. 25 квітня проводилася підготовка для зупинки 4-го енергоблоку на планово-примусовий ремонт. Під час зупинки блоку передбачалося провести випробування з відключеними системами захисту реактора в режимі повного знеструмлення устаткування АЕС. Для вироблення електроенергії передбачалося використовувати механічну енергію вибігання ротора турбогенератора (обертання по інерції). Передбачалося, що якщо АЕС із якої-небудь причини знеструмиться, то зупиняться всі механізми, у тому числі й насоси, які прокачують охолоджену воду через активну зону реактора, що могло призвести до її розплавлювання. Тому було вирішено провести такий експеримент.

Причиною аварії став збіг багатьох факторів. Основними порушеннями регламенту й помилками при проведенні експерименту були такі:

1) експеримент проводився при працюючому реакторі, у нестабільному режимі роботи, при відключеній системі аварійного охолодження реактора;

2) з активної зони були витягнуті стрижні-поглиначі «непорушного запасу» (у нижньому положенні залишилися 6 стрижнів замість 28-30);

3) помилково була відключена система локального автоматичного регулювання, що призвело до провалу потужності;

4) відключення енергоблоку від аварійного електроживлення й від енергосистеми.

Хід аварії. 26 квітня 1986 року о 1 год. 23 хв. відбулася аварія на 4-му блоці ЧАЕС, що супроводжувалася руйнуванням активної зони реактора та частини реакторного будинку й покрівлі машинного залу. Через пролами в будинку на територію АЕС була викинута значна кількість робочих каналів, таблеток двоокису урану, шматків графіту, уламків конструкцій.

Викид радіонуклідів за межі аварійного блоку являв собою розтягнутий у часі процес, який можна поділити на 4 стадії.

1. Перша стадія (початковий викид): при вибуху відбувся механічний викид диспергованого палива з реактора. Склад радіонуклідів на цій стадії відповідає їх складу у паливі, але збагачений леткими ізотопами йоду, телуру, цезію. Викинуто до 25% всієї активності реактора.

2. Друга стадія (період охолодження): з 26 квітня по 2 травня. Характеризувалася зниженням майже в 6 разів викидів активності, горінням графіту, виділенням летких продуктів поділу. У результаті поступового розігріву палива відбулося підвищення температури до 1800° С.

3. Третя стадія (період розігріву): з 2 по 6 травня. Відбувалося швидке наростання потужності викиду продуктів розпаду за межі реакторного блоку, що обумовлювалося нагріванням палива в активній зоні до температури понад 2000°С. Спостерігається викид летких речовин (в основному йоду).

4. Четверта стадія (різке падіння): після 6 травня. Характеризується швидким зменшенням викидів радіонуклідів внаслідок стабілізації та зниження температури палива, а також

внаслідок розплавлення опорної плити й виходу розплавленого палива в підреакторний простір. Крім того, допомогло засипання аварійного реактора нейтралізуючими тепловідводними і фільтруючими матеріалами (карбід бору, доломіт, глина, свинець, пісок).

Радіоактивні зони формувалися за рахунок продуктів поділу ізотопів плутонію, трансуранових елементів.

Близько 50 тонн ядерного палива було викинуто вибухом в атмосферу у вигляді дрібнодисперсних частинок двоокису урану, високоактивних радіонуклідів йоду-131, плутонію-239, нептунію-139, цезію-137, стронцію-90 й багатьох інших радіоактивних ізотопів. Ще близько 70 тонн було викинуто з периферійних ділянок активної зони бічними променями вибуху на дах деаераторної етажерки й машинного залу енергоблоку, на пристанційну територію. Приблизно 50 тонн ядерного палива й близько 800 тонн графіту (з 1700 тонн) залишилися в шахті реактора (графіт, що залишився в шахті, у наступні дні повністю вигорів).

Крім паливних частинок, були також викинуті: практично 100% благородних газів, до 25% цезію-137, при цьому більше 40% випало на території колишнього СРСР і близько 30-35% - на території інших країн.

Сумарний викид продуктів поділу з урахуванням розпаду склав близько 50 МКі (на 6.05.1986 р.), що відповідає приблизно 3,5% загальної кількості радіонуклідів, що перебували в активній зоні реактора на момент вибуху.

Ліквідація наслідків аварії

Хід ліквідації наслідків аварії на будь-якій АЕС можна умовно поділити на три етапи:

- гострий, до моменту повної локалізації викидів радіонуклідів з реактора. Для ЧАЕС він тривав з 26 квітня по 14 листопада 1986 р., тобто до моменту створення саркофага;

- етап ліквідації явних наслідків аварії. У цей час проводяться основні дезактиваційні заходи. Для ЧАЕС він тривав з 1987 по 1990 рік;

- етап довгострокових планових заходів щодо зменшення впливу негативних причин на життєдіяльність потерпілих людей і наступних поколінь. Для ЧАЕС він триває з 1991 р.

Роботи з локалізації джерела радіації шляхом засипання нейтралізуючими тепловідводними і фільтруючими матеріалами

(карбід бору, доломіт, глина, свинець, пісок) проводилися в період з 27 квітня по 5 травня. Для виконання цього завдання залучалося близько 68 вертольотів і 1500 чоловік, 180 одиниць різної техніки, річкові судна, залізничні состави. Доставка і скидання матеріалів здійснювалися вертольотами, які зависали на висоті 200 м. Усього було скинуто 4668 т матеріалів.

Після гасіння масових викидів радіонуклідів 6 травня до спорудження саркофага (сховища) діяли локальні джерела викидів радіоактивних продуктів - газоподібних, летких і аерозольних, які проривалися зі зруйнованого реактора.

Об'єкт «Укриття». Недоліки конструкції об'єкта «укриття»: недостатня міцність старих конструкцій, на які спираються основні й знову створені конструкції; негерметичність.

Специфіка об'єкта «укриття» полягає в тому, що в результаті фізико-хімічних процесів і під впливом природних факторів стан об'єкта «укриття» постійно змінюється й ніякі оцінки його стану не можна вважати остаточними й незмінними. Небезпеки пов'язані з об'єктом «Укриття»:

- 1) довгоживучі радіоактивні елементи, сумарна активність ~ 20 МКі;
- 2) відкрите джерело радіоактивного випромінювання;
- 3) наявність паливних матеріалів усередині об'єкта «Укриття» ~ 200 тонн;
- 4) наявність води в приміщеннях;
- 5) будівельні конструкції за характеристиками міцності не відповідають вимогам нормативних документів.

Наслідки аварії. Радіаційна ситуація при аварії на ЧАЕС розвивалася таким чином. Відповідно до метеорологічних умов протягом перших двох - трьох діб після аварії потужний струмінь повітря поширювався в північно-західному, північному і північно-східному напрямках. Найпотужніша радіоактивна хмара пройшла над білоруським Поліссям, залишивши там до 70% своєї сумарної радіоактивності.

Західний слід охопив Київську, Житомирську області, північ Рівненської та північно-східну частину Волинської областей. Південний слід зумовив забруднення радіонуклідами Київської, Черкаської, Кіровоградської, частково Вінницької, Одеської та Миколаївської областей. Від південного сліду відійшов ще один слід у західному напрямі й зумовив радіоактивне забруднення частини

Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Івано-Франківської та Чернівецької областей. Значні площі забруднення радіонуклідами, пов'язані зі східним слідом, виявляються в західній і північно-східній частинах Чернігівської області, на півночі Сумської області, в Донецькій, Луганській і Харківській областях.

Смуга найбільшого радіоактивного забруднення (5 Кі/км^2) простягається Українським Поліссям на захід від міста Прип'ять, охоплюючи північні частини Київської, Житомирської і Рівненської областей. Причому щільність забруднення з просуванням на захід помітно зменшується. Приблизно у 30 кілометрах на схід від Овруча суцільна смуга надзвичайно високого радіоактивного забруднення (до $15\text{-}40 \text{ Кі/км}^2$) розгалужується на дві частини - одна, більш забруднена, йде на південний захід до Коростеня, друга – окремими великими ареалами – простягається на захід. На північний захід від Коростеня пролягає третя смуга надзвичайно високого забруднення, яка також простягається на захід.

Ще інша смуга надзвичайно високого забруднення радіонуклідами з північного сходу і півночі безпосередньо наближається до Києва і частково захоплює його північно-східну частину (житловий район Троєщина), а також проходить через його міста-супутники Вишгород і Димер.

За період до 10 травня 1986 р. відбулося формування зони радіоактивного забруднення. Остаточний радіоактивний слід сформувався до 12 травня.

У результаті поширення радіоактивної хмари на території Європи у цілому ряді країн радіоактивний фон підвищувався. Найбільше підвищення фону внаслідок опадів спостерігалось в Швеції, в Польщі, Фінляндії, ФРН і Австрії. У Швеції і Фінляндії вони були зареєстровані вже вранці 28.04.1986 р.

У середньому перевищення становило близько 50% річної дози від природного фону, у ряді країн - від 1 до 25%. Пізніше радіоактивне забруднення досягло Китаю, Японії, США, Канади. За 10-14 діб дрібнодисперсні частинки обійшли земну кулю і поширилися в Північній півкулі.

В Україні від аварії на ЧАЕС постраждало 3 361 870 осіб (у т.ч. 1 152 073 дітей). Участь у ліквідації приймало 346 315 осіб. Площа забруднення - $50,5 \text{ тис.км}^2$. У тому числі площа відчуження 2,12 тис. км (12 областей, 2293 населених пунктів). З 30-кілометрової зони евакуйовано 91,2 тис. осіб.

У момент аварії на чотирьох енергоблоках АЕС працювали 176 людей. Крім того, у 1,5 км до південно-сходу на майданчику 5-го й 6-го енергоблоків у нічну зміну працювали 268 будівельників і монтажників.

Частина працюючого персоналу одержала дози опромінення 600-1600 бер, а також опіки при гасінні пожежі.

Чисельність населення, що одержала внутрішнє опромінення (щитовидної залози) більше 30 бер - близько 150 тис. осіб.

29 працівників АЕС і пожежників загинули від гострої променевої хвороби в період 1986-1989 рр. Дві людини загинули від каліцтв, отриманих у результаті обвалу конструкцій і опіків.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 8

Поводження з радіоактивними відходами

1. Нормативна документація
2. Накопичення РАВ
3. Державне об'єднання з поведження з радіоактивними відходами
4. Утилізація РАВ

1. Нормативна документація

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

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

До радіоактивних відходів (РАВ) відносять:

- будь-які розчини, вироби, матеріали й біологічні об'єкти, що містять радіонукліди з радіоактивністю, що перевищує допустимі рівні, якщо подальше використання їх не передбачається;

-відпрацьоване ядерне паливо, подальше використання якого не передбачається;

-відпрацьовані закриті джерела іонізуючого випромінювання.

За ступенем активності радіоактивні відходи поділяються на високоактивні, середньоактивні й низькоактивні.

Високоактивні РАВ включають продукти розпаду або синтезу, відпрацьоване ядерне паливо й інші відходи з рівнем активності, що перевищують гранично допустимі, установлені нормативно-технічними документами. До них відносять також альфа-активні радіонукліди в кількостях, що перевищують установлені межі для неконтрольованого видалення.

Середньоактивні РАВ – відходи з більш низькими рівнями активності, ніж у високоактивних РАВ, але які потребують при поведженні з ними спеціальних захисних засобів.

Низькоактивні РАВ – відходи з низьким вмістом радіонуклідів, що не вимагають при поводженні з ними використання спеціальних захисних засобів.

Радіаційна безпека при поводженні з РАВ досягається дотриманням на всіх етапах комплексу санітарно-гігієнічних, інженерно-технічних та організаційно-правових вимог, що забезпечують захист персоналу, населення й навколишнього середовища від їх шкідливого впливу.

РАВ лише обмежений час повинні перебувати на території виробників відходів, а потім передаватися державному об'єднанню з поводження з радіоактивними відходами. Відповідальність за безпечне тимчасове зберігання РАВ покладає на їх виробників. У звичайних умовах радіаційна безпека забезпечується дотриманням таких принципів:

- неперевищення встановленої дозової межі;
- виключення будь-якого необґрунтованого опромінення;
- зниження дози до можливо низького рівня.

Межі допустимих доз радіаційного ризику для персоналу й населення, рівні радіаційного забруднення встановлюються національними нормами радіаційної безпеки й санітарними правилами поводження з РАВ, затвердженими Міністерством охорони здоров'я й Національною комісією з радіаційного захисту населення.

Організації, підприємства й установи, що виконують роботи з поводження з радіоактивними відходами, зобов'язані:

- забезпечувати проектування, розміщення, спорудження, експлуатацію й зняття з експлуатації устаткування й приналежностей, призначених для збору, тимчасового зберігання й кондиціонування власних радіоактивних відходів;
- вести власний облік радіоактивних відходів;
- домагатися дотримання діючих стандартів, норм і правил ядерної й радіаційної безпеки;
- забезпечувати радіоекологічний моніторинг і охорону радіоактивних відходів на всіх етапах поводження з ними;
- забезпечувати впровадження сучасних технологій і технічних рішень, на які є позитивний висновок державної екологічної експертизи.

Власник або керівник підприємства, на якому виконуються роботи з поводження з радіоактивними відходами, є відповідальною особою за радіаційну безпеку всього персоналу.

Усі радіоактивні відходи повинні передаватися організаціями - виробниками відходів у спеціальній тарі, що відповідає вимогам затверджених норм для відповідних типів відходів. Дрібні відходи підлягають кондиціонуванню до форми, зручної для перевезення, відповідно до норм і положень з транспортування ядерних матеріалів і радіоактивних речовин. Зазначені положення передбачають порядок перевезення РАВ, права й обов'язки відправника, перевізника, одержувача, правила безпеки, вимоги до пакування й транспортних засобів, правила на випадок ДТП при транспортуванні зазначених матеріалів, попередження й ліквідації можливих радіаційних наслідків.

Рішення про створення могильника, поховання або іншого об'єкта, призначеного для зберігання або переробки радіоактивних відходів, ухвалюється Верховною Радою або Кабінетом Міністрів України. Із цього моменту й до початку проектно-дослідницьких робіт Державне об'єднання з поводження з радіоактивними відходами зобов'язано вислати повідомлення відповідному органу виконавчої влади з обґрунтуванням необхідності створення такого об'єкта.

Кожна пропозиція, що стосується вибору майданчика, повинна супроводжуватися екологічною оцінкою з детальним її обґрунтуванням, визначенням можливого збитку внаслідок виконання запланованих робіт, оцінку регіонального й локального впливу від розташування могильника на даному майданчику.

З метою інформування населення даного району проводиться суспільне обговорення проекту будівництва об'єкта, а висловлені побажання й пропозиції враховуються при доробці проекту. Державне об'єднання зобов'язане подати на розгляд й узгодження з населенням вичерпну інформацію щодо обраного майданчика.

Впровадження в дію сховища дозволяється лише після остаточного завершення будівництва всього комплексу зовнішніх і підземних споруд, передбачених проектом, що підтверджується актом Державної комісії про прийняття його в експлуатацію. Дозволом на експлуатацію є ліцензія на експлуатацію й санітарний паспорт, видані у встановленому порядку.

Остаточне поховання затверділих відходів може проводитись у стабільних геологічних формаціях (глибоких гранітних або соляних

шахтах). При цьому всередині приміщень тривалий час необхідно підтримувати певні кліматичні умови (постійність температури, тиску і відносної вологості). Але і це не гарантує усунення міграції радіонуклідів через кілька тисяч років, тому що серед похованих відходів є довгоживучі радіонукліди з періодами піврозпаду в мільйон і більше років. На такий тривалий період не можна забезпечити їх надійну ізоляцію.

Етап переробки радіоактивних відходів на радіохімічному заводі є найбільш радіаційно небезпечним у ядерному паливному циклі. Велика частина радіонуклідів, що надходить в атмосферу, розсіюється на незначних відстанях від заводу. У результаті вже у 20 км від радіохімічного підприємства доза зменшується в 10 разів. Однак деякі довгоживучі нукліди, у першу чергу ^{14}C , ^{85}Kr , ^3H , ^{129}I , спричиняють глобальне забруднення біосфери. Це зумовлено їх досить високим ступенем міграції, яка призводить до розсіювання цих радіонуклідів на величезних відстанях за відносно короткий час. Для розпаду продуктів поділу у відходах до прийнятого рівня порівняно з радіаційними характеристиками уранової руди необхідно до 600 років. Найбільшу небезпеку серед продуктів поділу при витримуванні відходів упродовж 10-600 років являють собою ^{90}Sr і ^{137}Cs , а за умови тривалого терміну (1000 і більше років) - технецій-99, йод-129, цирконій-93. Однак, починаючи з 300-400 років, головну небезпеку становлять уже не продукти поділу, а актиноїди, що містяться у відходах: америцій-241 та 243, протактиній-231, плутоній-239. Через наявність трансуранових елементів необхідна надійна ізоляція відходів високої питомої активності на тривалий час.

На цей час у глобальному масштабі рівень іонізуючого випромінювання від відходів атомної промисловості невисокий. Однак надалі із збільшенням кількості відпрацьованого палива можуть виникнути серйозні проблеми із забезпеченням повної локалізації та ізоляції радіоактивних відходів і охороною навколишнього середовища, тобто із знаходженням оптимальних варіантів поховання відходів.

2. Накопичення РАВ

Нині в Україні накопичено 65,5 млн т радіоактивних відходів в урановидобувній і переробній промисловості; 70 тис. м³ залишків ядерного палива на сховищах атомних електростанцій; 1,1 млрд

м³ радіоактивно забруднених відходів (залишків реактора і техніки, знятий шар ґрунту тощо) у зоні відчуження Чорнобильської АЕС. Великі обсяги радіоактивних відходів (понад 5 тис. м³) зберігаються також у сховищах Української державної асоціації „Радон”. Близько 85-90% усіх накопичених радіоактивних відходів є низько- та середньоактивними.

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

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

У шести областях України розташовані регіональні підприємства УкрДО "Радон" з переробки та зберігання радіоактивних відходів, які приймають на зберігання радіоактивні відходи від усіх галузей народного господарства. Ці підприємства також не мають установок для первинної переробки відходів.

В Україні розвинута урановидобувна галузь з такими головними урановими родовищами: Ватутинським, Мічурінським, Жовторіченським, Краснооскільським і Сурським. Уранові руди з цих рудників збагачуються та переробляються на Східному гірничозбагачувальному комбінаті у Жовтих Водах, а також на Дніпропетровському і Дніпродзержинському переробних заводах.

Для природного середовища та людей головну небезпеку становлять великі за своїми обсягами хвостосховища та зосереджені в них радіоактивні матеріали.

Україна належить до країн з дуже розвинутим використанням джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) у багатьох сферах господарства і наукової діяльності. На даний час існує близько 8 тисяч підприємств та організацій (тільки по місту Києву їх близько 400), які використовують понад 100 тисяч ДІВ.

3. Державне об'єднання з поводження з радіоактивними відходами

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

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

ЦСРБ укомплектовано досвідченими спеціалістами в галузі радіаційної безпеки, сучасними приладами радіаційного контролю. Лабораторія Центральної служби акредитована в системі УкрСЕПРО.

Для вирішення цих проблем УкрДО "Радон" об'єднало в своєму складі вісім спеціалізованих підприємств.

1. Державне спеціалізоване підприємство Центр переробки та захоронення техногенних відходів "Техноцентр" (м. Чорнобиль) здійснює науково-дослідницьку, проектну, технологічну, експериментальну і виробничу діяльність, спрямовану на переробку, зберігання та захоронення РАВ, є замовником будівництва єдиного центру щодо захоронення радіоактивних відходів (комплекс виробництв „Вектор”), крім того, є головним підприємством Об'єднання, яке здійснює управління його поточною діяльністю.

2. П'ять державних міжобласних спеціалізованих комбінатів (ДМСК). Спеціалізовані комбінати розташовані в різних містах України і працюють за регіональним принципом:

Київський ДМСК – Хмельницька, Вінницька, Житомирська, Київська, Чернігівська області;

Дніпропетровський ДМСК – Кіровоградська, Дніпропетровська, Запорізька, Донецька, Луганська області;

Львівський ДМСК – Львівська, Закарпатська, Волинська, Рівненська, Тернопільська, Івано-Франківська області;

Одеський ДМСК – Республіка Крим, Одеська, Миколаївська, Херсонська області;

Харківський ДМСК – Харківська, Сумська, Полтавська області;
Донецький ДСК.

3. Один державний спеціалізований комбінат (ДСК).

4. Науково-технічний центр із дезактивації та комплексного поводження з радіоактивними відходами, речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання (НТЦ КПРВ) (м.Жовті Води). Окрім того, НТЦ забезпечує проведення комплексних досліджень фізико-механічних, хімічних та радіаційно-захисних властивостей нових композиційних матеріалів.

Станом на грудень 2016 року спецкомбінатами прийняте на збереження в цілому 171 тис. кг низько- і середньоактивних радіаційних відходів.

Головними завданнями спеціалізованих комбінатів є поводження з радіоактивними відходами різних видів, які утворилися в результаті діяльності людини у промисловості, науці, медицині шляхом їх збирання, транспортування, переробки, локалізації і дезактивації спеціального і цивільного одягу, забрудненого радіонуклідами, і в разі потреби ліквідації радіаційних аварій на території України. Окрім того, спеціалізовані комбінати проводять радіаційну розвідку та забезпечення системи радіологічного моніторингу навколишнього природного середовища у своїх регіонах.

Спеціалісти ЦСРБ постійно проводять індивідуальний дозиметричний контроль зовнішнього та внутрішнього опромінення персоналу на спецпідприємствах об'єднання, надають організаційно-методичну та технічну допомогу службам радіаційної безпеки і спецпідприємств, беруть участь у ліквідації радіаційних аварій.

Фахівці УкрДО "Радон" брали безпосередню участь у ліквідації понад 165 радіаційних аварій та аварійних ситуацій.

На сьогодні об'єднання виконує такі роботи:

- ліквідацію радіаційних аварій на території України;
- моніторинг навколишнього природного середовища;
- попереднє сортування відходів та підготовку їх до транспортування спеціальними видами транспорту;
- транспортування радіоактивних відходів;

- повний цикл робіт із перезахоронення РАВ з аварійних об'єктів України;
- проектування стаціонарних та пересувних установок для цементування широкого класу радіоактивних відходів;
- вибір ефективних матричних матеріалів для іммобілізації радіоактивних відходів;
- розроблення технологічних процесів та виконання робіт із кондиціювання джерел з використанням металевих і полімербетонних матеріалів;
- переатестацію закритих радіонуклідних ДІВ, які вичерпали призначений термін служби;
- розроблення системи контролю за зберіганням та переміщенням РАВ і ДІВ у межах сховища РАВ;
- розроблення нетрадиційних способів захоронення РАВ у геологічних формаціях;
- створення та експлуатація об'єктів і споруд для переробки, тимчасового зберігання, захоронення РАВ та інших техногенних відходів (ТВ);
- проектування та виготовлення обладнання і транспортних засобів, призначених для поводження з РАВ та іншими ТВ, розроблення засобів контролю, діагностики та захисту в сфері поводження з РАВ та іншими ТВ;

На даному етапі на спецпідприємствах вводиться в дію комплект типової технологічної документації з тимчасового зберігання РАВ для подальшого захоронення в центральному національному сховищі України. Для цього розпочато будівництво підприємства з переробки і захоронення радіоактивних відходів низької і середньої активності в зоні Чорнобильської АЕС — комплексу "Вектор".

Усі низько- та середньоактивні відходи, що містять короткоіснуючі радіонукліди, заплановано захоронювати у сховищах комплексу виробництв «Вектор», перша черга якого введена в експлуатацію в 2009 році. При цьому буде здійснюватися вивезення накопичених відходів з атомних електростанцій, сховищ спецкомбінатів ДК «УкрДО «Радон», зони відчуження Чорнобильської АЕС та інших об'єктів з метою мінімізації місць зберігання або захоронення радіоактивних відходів.

Міжобласні спецкомбінати об'єднання змінили технологію поводження з відходами - які тепер не захоронюються, а лише

тимчасово зберігаються з подальшим вивезенням їх до сховищ комплексу виробництв «Вектор». Тривале зберігання високоактивних та довгоіснуючих відходів передбачено здійснювати у сховища другої черги комплексу виробництв «Вектор», де вони будуть зберігатися впродовж 50-100 років з подальшим вивезенням їх до геологічного сховища.

Згідно із Законом України «Про поводження з радіоактивними відходами» низько- і середньорадіоактивні відходи АЕС повинні захоронюватися в приповерхневих сховищах. Цього в нас поки немає. У цей час завершується будівництво в чорнобильській зоні першого такого сховища «Вектор». Ще більш складна ситуація зі зберіганням високоактивних відходів, які згідно із Законом повинні захоронюватися у сховищах, які споруджуються в глибоких геологічних формаціях. В Україні таких поки що немає і в недалекому майбутньому не передбачається.

Досвід та практика свідчать, що нині в світі при спорудженні геологічного сховища головною перепорою стають не інженерні або наукові проблеми і навіть не економічні чинники, а отримання згоди населення на створення і розміщення такого сховища.

4. Утилізація РАВ

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

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

Згідно з експертними оцінками на сьогоднішній день поховання одного кубометра низькоактивних відходів становить \$2-6 тис.,

средньоактивних – \$10-70 тис., високоактивних - \$0,4-1,4 млн. Україна посідає четверте місце в Європі щодо обсягів таких відходів. Як здійснювати їх утилізацію – головна проблема, що постала на сьогоднішній день. На початку 2010 року експерти Рахункової палати України провели аудит ефективності забезпечення фізичного захисту ядерних і радіаційних об'єктів Міністерства палива й енергетики України. Висновки не оптимістичні. На об'єктах, що перебувають у сфері управління Мінпаленерго, не забезпечений режим фізичної неприступності, який дозволяв би гарантовано запобігти погрозі несанкціонованого поширення радіоактивних матеріалів, не створені умови надійного зберігання ядерних відходів, захисту населення від радіаційного випромінювання.

Складна ситуація склалася зі зберіганням радіоактивних відходів АЕС. У цей час такі відходи в основній своїй масі зберігаються на промислових майданчиках атомних станцій.

Проблема утилізації радіоактивних відходів останнім часом набуває надзвичайно важливого значення у зв'язку з тим, що у всьому світі необхідно буде демонтувати близько 300 АЕС через закінчення технічного терміну їх експлуатації. Демонтаж станцій зумовлюватиме створення такої самої кількості радіоактивних відходів, як за весь час їх експлуатації впродовж 25-30 років.

Існують два шляхи: АЕС демонтувати і десь поховати гори радіоактивних накопичень матеріалів або над ними спорудити саркофаги і обслуговувати сотні років.

Справа ускладнюється ще й тим, що ніхто не може сказати, де потрібно надійно схоронити плутоній, який стане непотрібним після скорочення ядерної зброї. А його накопичено у боєголовках «ядерних» держав тисячі тонн. Установлено, що 400 грамів плутонію достатньо, щоб викликати смертельне захворювання - рак легенів - у 10 млрд. людей.

Питання про те, як краще утилізувати РАВ, дотепер залишається відкритим. За оцінками Єврокомісії, щорічно країни Євросоюзу змушені утилізувати 1 млрд куб. метрів промислових відходів і 50 тис. куб. м радіоактивних. Проблема полягає в тому, що радіоактивне сміття залишається небезпечним впродовж сотень і тисяч років. Тому будь-які ушкодження сховищ здатні привести до найтяжчих наслідків.

Глобальне партнерство з ядерної енергії пропонує кілька варіантів розв'язання проблеми.

1) Заховувати відходи на океанському дні. Недоліком такого способу є те, що такі могильники повинні перебувати на значних глибинах, далеко від узбережжя. Однак контейнери з відходами можуть бути легко ушкоджені, їх також буде складно виявляти. Та й стежити за могильниками проблематично. В 1972 році була прийнята Міжнародна конвенція про запобігання забрудненню моря відходами, яка заборонила проведення таких експериментів. Термін дії Конвенції минає в 2018 році.

2) Вивезення ядерних відходів у космос. На сьогодні існує кілька розробок. Так, НАСА й Міністерство енергетики США розглядали можливість виведення на навколосонячну орбіту контейнерів з РАВ. Незаперечна перевага такого методу - радіоактивне сміття видаляється з планети Земля. Ризик полягає в тому, що ніхто не може гарантувати, що можливе влучення цих речовини на Сонце не призведе до негативних наслідків або того, що космічний мусоровіз не зіштовхнеться з метеоритом або космічним кораблем. Головний аргумент противників ідеї - неймовірно висока вартість: щоб позбавити людство від відходів, буде потрібно кілька десятків тисяч запусків космічних апаратів.

3) Вивезення відходів на ненаселений острів. Ядерний могильник може бути створений тільки у твердих геологічних породах і для нього потрібна значна територія. Острів повинен перебувати дуже далеко від густонаселених місць. Ділянок суші, що відповідають подібним вимогам, украй мало. Забезпечувати безпечне океанське транспортування й охорону сховища також складно. Втім, Фінляндія будує подібний могильник на невеликому гранітному острові.

4) Будівництво могильників серед льодів Антарктиди або Гренландії. У цьому випадку досить побудувати шахту, яка буде накрита льодом. Перевага ідеї - у незаселеності цих територій і товщині материкового льоду. Недоліки також суттєві: льоди можуть танути, завдяки чому радіоактивні води можуть потрапити у Світовий океан. Доставка величезної кількості подібних вантажів у приполярні області, де немає комунікацій, також є дуже серйозною проблемою. До того ж Антарктичний договір забороняє розміщення радіоактивних відходів на території шостого континенту.

5) Будівництво підземних сховищ у скельних породах. Подібний метод залишається єдиним науково й технічно обґрунтованим довгочасним розв'язанням проблеми радіоактивних відходів. Багато країн протягом десятиліть проводять дослідження, метою яких є

перевірка безпеки місць, які реально використовуються або призначені для використання в якості подібних могильників. Наприклад, у Німеччині одне сховище (Асові) досліджується з 1965 року, у Швейцарії (Гримсель) – з 1984.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 9

Сучасна радіаційна ситуація в Україні

1. Радіаційна ситуація в Україні
2. Основні завдання служби

1. Радіаційна ситуація в Україні

Характеризується наявністю складного поєднання різноманітних джерел опромінення людини, які діють одночасно: індустриальні, медичні, а також "продовжені" аварійні, техногенно-підсилені природні та інші.

Природна радіоактивність. На території України основні джерела природної радіації зосереджені в межах Українського кристалічного щита (площі з високим рівнем радоновиділення займають близько 20% території кристалічного щита) та меншою мірою на Донбасі й у Карпатах. За результатами радіогеохімічних досліджень територія України поділена на три уранові провінції: Український щит, Карпатську і Донецьку. В їх межах відкрита значна кількість уранових родовищ, а також родовищ радонових вод. Частина виявлених родовищ розробляється. Крім того, існують дві потенційні уранові провінції: Волино-Подільська і Кримсько-Причорноморська, в яких проводять пошуки нових природних радіоекологічних аномалій.

Найбільший вплив на формування радіоактивного фону в Україні мають уран, торій, калій-40, рубідій-87. Середній вміст урану у кристалічних породах - 2,2 г/т, торію - 14 г/т.

Південна частина Українського кристалічного щита являє собою головний радононосний й ураноносний район України, більше 50% якого характеризується аномальними концентраціями радону й урану у ґрунтах і підземних водах. Води цього типу зустрічаються на Донбасі, у Криму і Карпатах. Але найбільше вивчені радіоактивні води в межах Українського кристалічного щита. Такими водами лікують хвороби нервової системи (радикуліти, поліневрити, наслідки черепно-мозкових травм), серцево-судинної системи (гіпертонічна хвороба I-II стадій, хронічний тромбофлебіт, ревматичні пороки серця з порушеннями кровообігу), хвороби опорно-рухового апарату (артрити різноманітного походження,

артрози, остеохондроз, наслідки травм хребта та суглобів), а також цукровий діабет, захворювання шкіри та гінекологічні захворювання. Вперше радонові води відкриті у 1935 р. в околицях м. Хмільник (Вінницька обл). В Україні розвідані Житомирське, Шепетівське, Білоцерківське, Звенигородське, Криворізьке, Бердянське та низка інших родовищ.

Середня концентрація радону у радіоактивних мінеральних водах дорівнює 60-100 еман (6-10 нКи/дм³), а в окремих випадках вона досягає 1100 еман (1 еман = 10⁻¹⁰ Ки/л). Найперспективнішими на радонові води є гранітні породи, які відзначаються високим вмістом радіоактивних елементів.

Техногенно-підсилені діяльністю людини природні джерела є основними джерелами опромінення населення України, до речі, як і в інших країнах світу. Середньорічна ефективна доза опромінення населення цими джерелами в Україні становить понад 6 мЗв. Більше 70% цієї дози становить радон-222 - продукт розпаду природного урану-238. Актуальною також є проблема опромінення людини техногенно-підсиленними джерелами природного походження у виробничих умовах (металургія, не уранові шахти та інше).

Джерела, які використовуються в медицині з метою діагностики та лікування, знаходяться на другому місці за величиною наявних доз опромінення. Середня доза опромінення населення від медичних процедур в Україні становить 0,5 мЗв на рік. У той самий час внесок цього виду опромінення в сумарну дозу достатньо істотний і становить 10-20%. Тому досить актуальним є проведення заходів із зниження цієї компоненти опромінення.

Дуже важливим з позиції профілактичної медицини є зниження радіаційного впливу на населення, яке проживає на територіях, де зберігаються відходи виробництва з підвищеним вмістом природних радіонуклідів.

На даний час аварія на Чорнобильській АЕС розглядається як **джерело пролонгованого опромінення населення**. Моніторинг радіоактивності на території України, як і раніше, залишається під особливою увагою державної санітарно-епідеміологічної служби. Актуальність цієї проблеми підвищується у зв'язку з розташуванням на території України чотирьох атомних електростанцій і двох дослідницьких ядерних реакторів.

Загальні радіаційні аварії на АЕС при руйнуванні одного реактора з викидом 10% радіоактивних продуктів за межі санітарно-

захисних зон станцій можуть утворювати зони радіаційного забруднення загальною площею 430 тис. км.², у які потраплять більше 5,2 тис. населених пунктів з населенням понад 22,7 млн чоловік. Щороку на АЕС України відбувається близько 40 надзвичайних ситуацій. Найчастіше вони пов'язані з незапланованими зупинками реакторів. Ці події не призводять до значних наслідків, радіаційний фон на станціях залишається в межах допустимих норм. Більше всього надзвичайних ситуацій відбувається на найбільшій Запорізькій АЕС.

Крім того, для території України транскордонну небезпеку становлять:

- Курська АЕС (Російська Федерація) - для територій Полтавської, Сумської, Харківської й Чернігівської областей;
- Смоленська АЕС (Російська Федерація) - для територій Сумської й Чернігівської областей;
- Ігналінська АЕС (Литва) - для територій Житомирської, Київської, Рівненської й Чернігівської областей.

Також при аваріях на АЕС, розташованих на території Болгарії, Словаччини, Угорщини, Чехії, небезпечному забрудненню можуть піддатися території Закарпатської, Львівської й Одеської областей.

Географія радіоактивного забруднення. Інтенсивне техногенне радіоактивне забруднення території України здебільшого зумовлено Чорнобильською катастрофою. На сьогодні найбільше забруднення спричиняють ¹³⁷Cs і ⁹⁰Sr. В Україні підвищення потужності дози, що спричинене забрудненням ¹³⁷Cs у межах 4-20 кБк/м² (0,1-1 Кі/км²), спостерігається на більшій частині території.

Найвищі рівні забруднення радіонуклідами спостерігаються в межах 30-кілометрової зони відчуження, утвореної навколо Чорнобильської АЕС.

На території України найбільші екологічні наслідки мали райони проходження західного, південного і східного радіоактивних слідів.

Західний слід охопив Київську, Житомирську області, північ Рівненської та північно-східну частину Волинської області. Тут щільність радіоактивного забруднення в окремих плямах сягає 190 кБк/м² (1-5 Кі/км²). Південний слід зумовив забруднення радіонуклідами Київської, Черкаської, Кіровоградської, частково Вінницької, Одеської та Миколаївської областей. Щільність забруднення ¹³⁷Cs у межах цього сліду досягає 100 кБк/м². Від

південного сліду відгалузився ще один слід у західному напрямі й зумовив радіоактивне забруднення частин Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Івано-Франківської та Чернівецької областей, де середня щільність забруднення ^{137}Cs становить 10-40 кБк/м² (1 Кі/км²). Значні площі забруднення радіонуклідами, пов'язані зі східним слідом (до 40 кБк/км²), виявляються в західній і північно-східній частинах Чернігівської області, на півночі Сумської області, в Донецькій, Луганській і Харківській областях.

Останнім часом поновилася деталізація радіаційної ситуації в Україні. Встановлено, що суттєвих змін у географії забруднення радіонуклідами не відбулося, хіба що виявлено кілька нових плям площею до кількох квадратних кілометрів з рівнями 5-15 Кі/км² у Вінницькій, Івано-Франківській, Київській, Черкаській, Чернігівській областях та з рівнями 1-5 Кі/км² у Сумській і Тернопільській областях.

Смуга найбільшого радіоактивного забруднення (понад 5 Кі/км²) простягається Українським Поліссям на захід від міста Прип'ять, охоплюючи північні частини Київської, Житомирської і Рівненської областей. Причому щільність забруднення з просуванням на захід помітно зменшується. Приблизно у 30 кілометрах на схід від Овруча суцільна смуга надзвичайно високого радіоактивного забруднення (до 15-40 Кі/км²) розгалужується на дві частини – одна, більш забруднена, йде на південний захід до Коростеня, друга – окремими великими ареалами – простягається на захід. На північний захід від Коростеня пролягає третя смуга надзвичайно високого забруднення, яка також простягається на захід.

Ще інша смуга надзвичайно високого забруднення радіонуклідами з північного сходу і півночі безпосередньо наближається до Києва і частково захоплює його північно-східну частину (житловий район Троєщина), а також проходить через його міста-супутники Вишгород і Димер.

Ареали забруднення ^{90}Sr у концентрації від 0,05 до 0,5 Кі/км² практично збігаються з площами забруднення ^{137}Cs , дещо розширюючись у східному напрямку.

В окремих місцях України в ґрунтах виявлені аномальні рівні плутонію, які здебільшого збігаються з ареалами забруднення ^{90}Sr . Максимальна кількість забруднених ділянок виявляється у Чернігівській області, де щільність плутонію коливається в межах 0,2-0,8 мКі/км².

Радіаційна ситуація водних екосистем України визначається величиною принесення радіонуклідів водотоками із забруднених басейнів. Головними постачальниками радіонуклідів після аварії на Чорнобильській АЕС є стоки річок Дніпра і його основних поліських притоків – Прип'яті, Десни і Тетерева. Нижня ділянка р. Прип'ять і верхня частина Київського водосховища були включені в 30-кілометрову зону відчуження. Нижче за течією Дніпро, його притоки та дніпровські водосховища стали головними шляхами перенесення радіонуклідів із забруднених територій у Чорне море.

2. Основні завдання служби

1) проведення державного санітарного нагляду за підприємствами й установами, що використовують в технологічному процесі та медичній практиці радіоактивні речовини і джерела іонізуючого випромінювання;

2) дослідження продуктів харчування, питної води, об'єктів навколишнього середовища (вода відкритих водоймищ, ґрунт, атмосферне повітря), будівельних матеріалів, фосфоритів і мінеральних добрив, посуду, барвників на вміст радіонуклідів та аналіз радіаційного стану на території області;

3) контроль за показниками радіаційної безпеки при відведенні земельних ділянок під будівництво, при введенні до експлуатації об'єктів (житлових, соціально-побутових, промислових, харчових, спортивних та інших приміщень) після будівництва та реконструкції;

4) контроль за дотриманням радіаційної безпеки при заготівлі та реалізації брухту чорних і кольорових металів;

5) радіаційний моніторинг на забруднених внаслідок Чорнобильської катастрофи територіях Шосткинського та Ямпільського районів (дозиметрична паспортизація 11 населених пунктів, дослідження харчових продуктів приватного сектора, продуктів лісу, лікарських рослин, питної води і об'єктів навколишнього середовища, обстеження населення цього регіону на лічильнику випромінювання людини);

6) контроль за вилученням з підприємств і захороненням на Харківському спецкомбінаті непрацюючих радіоізотопних приладів та джерел іонізуючого випромінювання, назначений термін експлуатації яких закінчився.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Тема 10

Джерела радіаційного забруднення навколишнього середовища

1. Природні джерела випромінювання
2. Штучні джерела випромінювання

1. Природні джерела випромінювання

Джерела радіації поділяються на природні і штучні (створені людиною).

Природну радіацію утворюють космічні промені, що падають на Землю з космосу, і радіоактивні речовини, що знаходяться в земних породах, повітрі, воді і продуктах харчування. Потужність космічних променів, що досягають поверхні Землі, коливається залежно від висоти над рівнем моря і географічної широти. На рівні моря частка космічного випромінювання становить приблизно 15% річної дози всіх природних джерел.

Опромінення від природних джерел переважає багато інших джерел і є істотним фактором еволюції живих організмів у біосфері. У цілому, за даними спеціального наукового комітету ООН, середня еквівалентна доза опромінення населення в промислово розвинених країнах земної кулі за рахунок природних джерел випромінювання становить 2,5-3,0 мЗв/рік.

До природних джерел ІВ належать:

- космічні випромінювання;
- природні натуральні джерела.

Космічне випромінювання складається з галактичного і сонячного, яке пов'язане з сонячними спалахами. Сонячне космічне випромінювання відіграє важливу роль за межами земної атмосфери, але через порівняно низьку енергію мало впливає на дозу випромінювання біля поверхні Землі.

Космічне випромінювання складається з протонів (90%), альфа-частинок, нейтронів, ядер атомів різних елементів та інших частинок.

Інтенсивність космічного випромінювання залежить від сонячної активності, географічного розташування об'єкта і висоти над рівнем моря (рис. 1).

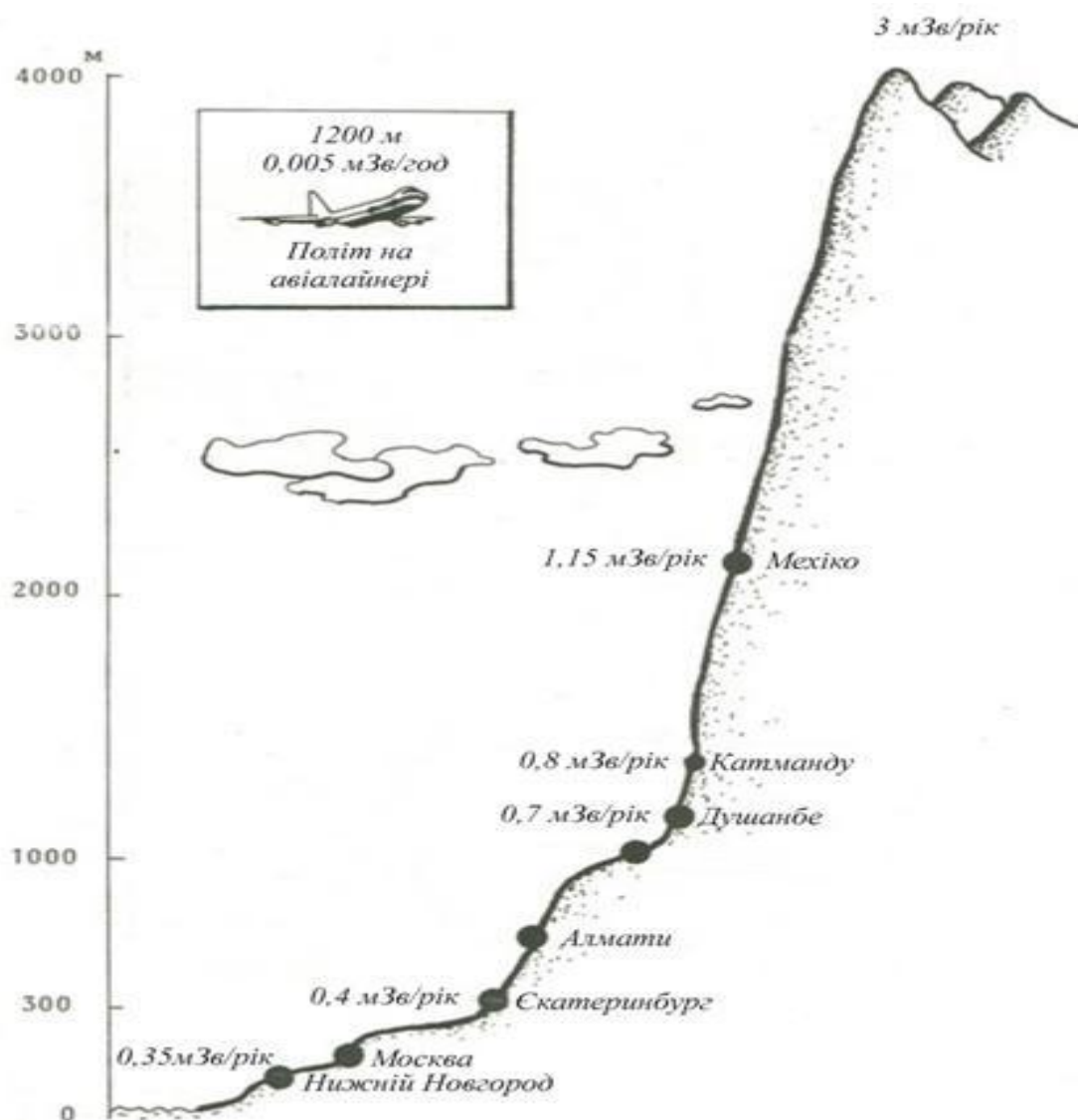


Рис. 1 – Радіаційний вплив космічного випромінювання на людину

Залежність від широти пояснюється тим, що Земля подібна до гігантського магніту, унаслідок чого заряджені частинки відхиляються від свого шляху і проходять повз планети, інші - змінюють курс над екватором і збираються у вигляді воронки біля полюсів, закручуючись відповідно до напрямку силових ліній прямо над геомагнітним полюсом (цим, до речі, і пояснюється феномен північного сяйва, що виникає при проходженні інтенсивних космічних променів біля полюсів).

Інтенсивність космічного випромінювання зберігається відносно постійною на географічній широті між $\pm 15^\circ$ по обидва боки від екватора, а далі у міру руху до північної або південної широти $\pm 50^\circ$

швидко зростає, після чого знову залишається практично незмінною аж до полюсів.

На вершині Евересту ($H = 8848$ м), найвищої точки земної поверхні, еквівалентна доза космічного випромінювання становить близько 8 мЗв/год.

Області поблизу екватора, які знаходяться на рівні моря, одержують найменшу дозу космічного випромінювання - близько 0,35 мЗв/год. У географічних областях на широті 50° доза космічного випромінювання становить близько 0,5 мЗв/год. Таку дозу отримують жителі, що проживають поблизу даної широти (Лондон, Нью-Йорк, Токіо, Торонто, Москва, Київ, Харків, Львів, Одеса).

Природні натуральні джерела. У біосфері Землі є більше 60 природних радіонуклідів, які можна розділити на три групи.

Перша група – ряд довгоживучих радіонуклідів, які входять до складу Землі з часу її утворення, - природні радіоактивні ряди - так називається послідовність генетично пов'язаних радіонуклідів, у яких кожний наступний нуклід виникає у результаті альфа- або бета-розпаду попереднього.

Друга група – радіонукліди, що не утворюють радіоактивного ряду і генетично не пов'язані з ним. До цієї групи належать 11 довгоживучих радіонуклідів (^{40}K , ^{87}Rb , ^{40}Ca , ^{120}Te , ^{138}La , ^{147}Sm), що мають періоди піврозпаду від 10^7 до 10^{15} років.

Третя група – ркосмогенні радіонукліди, які безперервно виникають у біосфері в результаті ядерних реакцій під впливом космічних випромінювань. Космогенні радіонукліди утворюються переважно в атмосфері у результаті взаємодії протонів і нейтронів з ядрами азоту, кисню і аргону, а далі потрапляють на земну поверхню з атмосферними опадами. До них належать ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{22}Na , ^{28}Mg , ^{32}P , ^{35}S , ^{39}Ar ,... – усього 14 радіонуклідів. Помітний внесок у дозу опромінення роблять ^3H , ^{14}C , ^7Be , ^{22}Na . При цьому ^3H і ^{14}C – це джерела внутрішнього опромінення, а основними джерелами зовнішнього опромінення є ^7Be , ^{22}Na і ^{24}Na .

Головне джерело надходження природних радіоактивних речовин у навколишнє середовище - гірські породи, що містять уран і торій. Їх період піврозпаду обчислюється мільйонами років. У міру радіоактивного розпаду випромінювання випускають не тільки вони самі, але і їх численні дочірні продукти з більш короткими періодами піврозпаду. Наприклад, при розпаді урану-238 утвориться 13

радіоактивних дочірніх ізотопів. Найбільш небезпечними продуктами розпаду торію-232 є радій-226 і радон-222, що забезпечують разом зі своїми дочірніми продуктами приблизно 75% річної дози опромінення, одержуваної населенням від усіх земних природних джерел радіації.

Найбільшою вагою з усіх джерел природної радіації володіє радон. Він дає приблизно половину дози опромінення людини, одержуваної від усіх природних джерел. Радон накопичується усередині приміщень, просочуючись через фундамент і підлогу із ґрунту або, рідше, вивільняючись з будівельних матеріалів. Близько 70-75% дози опромінення населення України від усіх джерел природної радіоактивності припадає на радон. Винним є Український щит - тектонічна структура, яка проходить з півночі на південь майже посередині України і займає близько 30% усієї території. Складається щит з гранітів та інших кристалічних порід, що характеризуються підвищеною радіоактивністю.

Природна радіоактивність рослин, фуражу і харчових продуктів обумовлена в основному калієм-40. Живий організм, засвоюючи калій як необхідний для нормальної життєдіяльності організму елемент, накопичує і радіоактивний калій-40.

Невелика частина дози припадає на тритій і вуглець-14, що утворюються в атмосферному повітрі під впливом космічних променів.

Підвищену радіоактивність мають сланці, фосфорити. Тому фосфорні (а також азотні і калієві) мінеральні добрива часто є носіями радіоактивного забруднення ґрунтів і ґрунтових вод. Високу радіоактивність мають кальцієво-силікатний шлак, фосфогіпс, доменний шлак, вугільний шлак.

Аномалії природного фону. На планеті є місця, де рівні радіаційного фону підвищені внаслідок значних покладів радіоактивних мінералів. Виявлено п'ять основних населених місць, які мають істотно збільшений природний рівень радіації через певний склад ґрунту і гірських порід. Це Бразилія, Франція, Індія, о. Німуе (Тихий океан) і Єгипет.

Аномальні райони в Україні - Хмельник, Миронівка, Жовті Води, а також Дніпропетровська, Кіровоградська і Миколаївська області, де знаходяться рудники з видобування урану. У цих місцях рівні природного фону в десятки і сотні разів більші, ніж на іншій території.

2. Штучні джерела випромінювання

Відкриття рентгенівських променів стало початком ери практичного використання людиною штучних джерел ІВ, що створило реальні умови додаткового понадфонового опромінення.

У результаті господарської діяльності людини в навколишньому середовищі з'явилися понад 1500 штучних радіонуклідів, а кількість стійких (нерадіоактивних) нуклідів дорівнює 260.

На цей час в Україні існує близько 8 тис. підприємств і організацій, які використовують близько 100 тис. джерел ІВ.

До основних штучних джерел радіоактивних забруднювачів відносять:

- застосування радіонуклідів у народному господарстві (у різних галузях промисловості і сільському господарстві) і побуті;
- уранова і радіохімічна промисловість, підприємства ядерної енергетики;
- ядерні вибухи при випробуваннях ядерної зброї;
- застосування РН у медицині.

Використання ІВ і РР у медицині для діагностики і радіотерапії - це основне джерело штучного опромінення людей, що перевищує вплив усіх інших штучних джерел. Ці дози створюються при рентгенівській діагностиці людей, діагностиці стану окремих органів (легенів, печінки, нирок, щитовидної залози та ін.) за допомогою радіоактивних препаратів, які вводяться всередину організму, а також радіаційної терапії з використанням радіоактивних джерел (^{60}Co , ^{137}Cs).

За даними наукового комітету ООН, ефективна еквівалентна доза від радіонукліда, що найбільш часто використовується ядерною медициною з метою діагностики, технецію-99 знаходиться у межах від 1 до 10 мЗв.

При рентгенографії пальців людина одержує місцеве разове опромінення – 0,6 мЗв; черепа – 8-60 мЗв; зубів – 30-50 мЗв; хребта - 16-147 мЗв; при рентгеноскопії грудної клітки – 47-195 мЗв; при рентгеноскопії шлунка – до 300 мЗв; при флюорографії легенів – 2-5 мЗв.

Персонал і хворі курортів, де лікують радоновими ваннами, одержують дозу опромінення порядку 300 мЗв/рік, що в 6 разів перевищує встановлені міжнародні норми.

У розвинених країнах на 1000 жителів потрібно від 300 до 900 обстежень на рік, не рахуючи рентгенологічних обстежень зубів і масової флюорографії. У середньому населення України внаслідок зазначених процедур одержує ефективну дозу опромінення всього тіла близько 1,8 мЗв/рік.

Таким чином, у сучасних умовах за наявності високого природного радіаційного фону, при діючих технологічних процесах, при використанні радіоактивних препаратів у медичних цілях кожний житель України щорічно одержує ефективну еквівалентну дозу в середньому 4,75 мЗв (космічне випромінювання – 0,5 мЗв, природні натуральні джерела – 2,25 мЗв, штучні джерела – 0,2 мЗв, медичні джерела – 1,8 мЗв).

Індивідуальні річні дози опромінення можуть змінюватися в досить широких межах.

Про те, наскільки глибоко в побут людини увійшла радіація, свідчать такі фактори:

- для одержання стійкої фарби на банкнотах застосовується вуглець-14;

- для одержання гарної жовтої емалі на кераміці або коштовних прикрасах застосовують уран;

- для додання блиску штучним фарфоровим зубам широко використовують уран і цезій. Вони можуть бути джерелами опромінення тканин порожнини рота, тому рекомендують припинити їх застосування;

- уран і торій використовуються при виробництві оптичного скла, керамічного і скляного посуду;

- при виробництві люмінофорів використовуються радіоактивні матеріали;

- солі радію використовують при виготовленні фарб, які мають властивість світитися, такі фарби наносять на циферблати і стрілки годинників, застосовують у прицільних пристроях, у театрі, рекламі тощо. Такі годинники дають річну індивідуальну дозу, яка перевищує в 4 рази ту, що виникає внаслідок викидів на АЕС;

- кольоровий телевізор. Наприклад, якщо дивитися передачі протягом року щоденно по 3 години, людина отримує дозу 0,05 мЗв;

- рентгенівські апарати, що використовуються в аеропортах для перевірки багажу пасажирів;

- пожежні димові детектори містять радій або плутоній (у США до кінця 1980 р. було встановлено більше 26 млн таких детекторів).

У промисловості за допомогою радіонуклідів здійснюється контроль якості виробів (дефектоскопія), контроль технологічних процесів. Використання іонізуючих властивостей радіоактивних речовин знаходить застосування в блокуючих пристроях – джерело слабого випромінювання надягають як браслет або кільце на руку робітника. Коли рука наближається до небезпечної зони обладнання, випромінювання впливає на датчик, перетворюючи його в електричний сигнал, який подається на тиратрон і реле, що розриває ланцюг магнітного пускача, і обладнання зупиняється.

Використання радіонуклідів у ролі так званих мічених атомів дозволило вивчити нові закономірності і зробити важливі відкриття в біології, хімії, металургії та інших галузях народного господарства.

ІВ знайшло широке застосування і в сільському господарстві:

- для одержання мутацій і використання їх у селекційній роботі для виведення нових сортів у рослинництві. Цей метод дозволяє значно скоротити час виведення конкретних сортів;

- для підвищення продуктивності сільськогосподарських рослин шляхом передпосівного опромінення насіння. Картопля, вирощена з опромінених коренеплодів, містить більше крохмалю, білків і вітаміну С, ніж контрольні коренеплоди;

- для подовження термінів зберігання продукції рослинництва без істотної зміни її якості. Велике значення має гамма-опромінення ягід і фруктів, що швидко псуються. Це знижує їх зараженість мікроорганізмами, плісневими спорами і т.п.;

- використання методу радіоактивних індикаторів, який дозволяє вивчити ефективність різних термінів і методів внесення у ґрунт добрив;

- використання радіації для боротьби з комахами-шкідниками зерна, борошна, крупи. Якщо зерно перед завантаженням в елеватор пропустити через бункер з потужним джерелом гамма-випромінювання (^{60}Co), то розмноження комірної кліща виключається і зерно може зберігатися тривалий час без будь-яких втрат;

- застосування радіаційних технологій у тваринництві і ветеринарії. Великі дози ІВ згубно діють на мікрофлору, що використовується при консервації тваринницької продукції (досягається практично повна стерилізація продукції).

Останнім часом з'явилася серйозна небезпека радіоактивного забруднення навколишнього середовища у зв'язку з використанням

радіоактивних джерел у космічних дослідженнях. На космічних кораблях використовуються бортові атомні електростанції, у системі ПРО використовується рентгенівський лазер з ядерним накачуванням, різного роду прискорювачі елементарних частинок. У червні 1969 р. в результаті аварії американського супутника відбулося зараження атмосфери над Індійським океаном плутонієм-238, при цьому втричі збільшився вміст плутонію у навколишньому середовищі.

Внаслідок згорання вугілля в ТЕС або в житлових будинках відбувається і радіоактивне забруднення навколишнього середовища. У вугіллі містяться природні радіонукліди: калій-40, уран-238, торій-232 і їх продукти розпаду. Викид цих радіонуклідів в атмосферу залежить від зольності вугілля і ефективності очисних фільтрів ТЕС. Фахівцями підраховано, що радіоактивні викиди ТЕС на порівнянних відстанях на 1-3 порядки більші, ніж від нормально працюючої АЕС. Вважається, що населення, яке проживає в районі ТЕС (у радіусі 20 км), одержує за рік додаткову середню індивідуальну дозу опромінення до 0,06 мЗв.

Випробування ядерної зброї та аварії на ядерних реакторах становлять окрему небезпеку.

При ядерному вибуху утворюється понад 200 різних радіоізотопів, які є як безпосередніми уламками поділу ядер важких елементів (урану-235, плутонію-238, плутонію-239), так і продуктів їх розпаду. Частина з них розпадається в найближчі хвилини і години після вибуху, інші протягом декількох днів, а такі, як стронцій-90, цезій-137, сурма-126 і ін., мають період піврозпаду від 1 року до декількох десятків років. Як джерела внутрішнього опромінення найбільш небезпечні радіонукліди йоду, цезію, стронцію, плутонію, торію.

У 1963 р. США, СРСР і Великобританія підписали договір про припинення експериментальних ядерних вибухів в атмосфері, космічному просторі і під водою. Франція відмовилася приєднатися до цього договору і продовжувала випробування і в атмосфері до 1974 р., а КНР - до 1980 р. Підземні випробування тривали до 1996 р.

Ядерну зброю випробовували на полігонах у Мораліну (Австралія), Семіпалатинську (СРСР), штаті Невада біля Лас-Вегаса (США), на атолі Муруроа (французька Полінезія) і в китайській провінції Сичуань.

З точки зору небезпеки забруднення біосфери продуктами ядерних вибухів, найбільш важливе значення мають наземні вибухи. У цьому випадку вогняна куля, що утворюється при ядерних вибухах, торкається поверхні Землі, і величезні маси ґрунту випаровуються і втягуються у вогняну кулю. Досить зазначити, що при наземному ядерному вибуху потужністю 20 кт на місцевості із супіщаним ґрунтом утворюється вирва діаметром 81 м і глибиною 19 м. Залежно від потужності ядерного вибуху і характеру ґрунту загальний викид ґрунту при наземному вибуху потужністю 1 кт становить приблизно 5000 т, а при потужності 20 кт - 20000 т.

У результаті випробування ядерної зброї до 1963 р. у стратосферу (8-55 км) піднято більше 200 млн т радіоактивного пилу, який випадав по всій земній кулі протягом кількох років.

Оскільки тепер глобальні випадання зі стратосфери переважно визначаються довгоживучими продуктами поділу ^{90}Sr , ^{137}Cs і ^{14}C , то можна вважати, що кожний житель Землі за рахунок ядерних випробувань одержує річну дозу порядку 0,02 мЗв.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексахин Р. М. Ядерная энергетика и биосфера / Р. М. Алексахин. – М. : Энергоиздат, 1982. – 215 с.
2. Анненков Б. Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б. Н. Анненков, Е. В. Юдинцева. – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
3. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, П. Александер. – М. : Издво иностр. лит. – 1963. – 500 с.
4. Белов А. Д. Радиобиология / А. Д. Белов, В. А. Кирпиш, Н. П. Лысенко. – М. : Колос, 1999. – 380 с.

Навчальне видання

Гроза Варвара Ігорівна

РАДІОБІОЛОГІЯ

Курс лекцій

Відповідальний за випуск: В. І. Гроза

Технічний редактор: В. І. Гроза

Формат 60×103 1/16 Ум. друк. арк. 2,38 .

Тираж 20 прим. Зам. № ____

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