

ЛЕКЦІЯ 3.
РАДІОЧУТЛИВІСТЬ ОРГАНІЗМІВ. ПОНЯТТЯ ПРО КРИТИЧНІ ОРГАНИ

У радіобіології рівноправними є два терміни, що характеризують відношення організму до іонізуючих випромінювань — радіочутливість і радіостійкість. Вони взаємозв'язані і з різних боків віддзеркалюють одне і те саме явище. Якщо організм має високу радіочутливість, то він характеризується низькою радіостійкістю, і навпаки. Проте ці терміни треба розрізняти. *Радіочутливість організму* — це його здатність реагувати на мінімальні дози іонізуючої радіації, відчувати за допомогою своїх систем незначні рівні опромінення. *Радіостійкість* — це здатність організму переносити високі рівні опромінення. Якщо для характеристики радіостійкості можна використовувати рівні доз, при яких після опромінення гине певна частина організмів (наприклад ЛД₅₀ — напівлетальна доза, при якій гине і, відповідно, виживає половина організмів) або гинуть всі (ЛД₁₀₀ — летальна доза), то оцінка радіочутливості поки що утруднена. Тому, характеризуючи радіочутливість різних організмів чи їх радіостійкість, звичайно застосовують один рівень доз — ЛД₅₀.

Радіочутливість рослин

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

Є відомості про радіочутливість більш як 3000 рослин, що належать до різних родин, родів, видів. Але вони здебільшого стосуються насіння — стадії розвитку рослин, в якій вони перебувають у стані глибокого спокою, тому виявляють високу стійкість як проти іонізуючих випромінювань, так і проти інших шкідливих факторів. Але варто тільки помістити насіння у вологе середовище при кімнатній температурі (18—22 °С), як одразу в них активізуються процеси обміну речовин і вони починають проростати. Радіочутливість дводенного проростка порівняно з насінням збільшується в десятки разів і, дещо варіюючи в окремі фази розвитку, лишається приблизно на тому ж рівні до кінця вегетації. Хоч слід зазначити, що інформації про радіочутливість рослин у стадії вегетації є небагато. В табл. 6 наведено дані про радіочутливість насіння і рослин, що вегетують, і мають, крім першого, господарсько-корисне значення.

Таблиця 6. Радіочутливість рослин деяких родів до гамма- або рентгенівського опромінення (узагальнені дані), ЛД₅₀Гр

Рід	Насіння	Веґе- туюча росли- на	Рід	Насіння	Веґе- туюча росли- на
Лілія	10	0,5—1	Томат	200—400	—
Сосна	10—50	1—3	Кріп	250	—
Ялина	20—60	3—5	Люпин	250—300	15—20
Яблуня	20—70	—*	Ліпа	300	—
Виноград	20—90	—	Коноплі	300—350	—
Груша	30—40	—	Овес	250	—
Смородина	30—40	—	Буряки	350—400	25—30
Слива	40—100	—	Картопля	350—500	—
Вишня	50	—	Огірок	500	—
Боби	50—100	3—5	Гарбуз	500	—
Береза	50—100	—	Морква	500—1000	—
Горох	50—250	7—9	Люцерна	500—1000	20—25
Клен	100—150	—	Конюшина	500—1500	25—30
Кукурудза	100—150	18—22	Капуста	700—800	—
Цибуля	100—150	—	Ріпа	700—1000	—
Салат	100—150	—	Буркун	700—1000	—
Жито	100—180	—	Ріпак	750—1000	—
Гречка	100—200	—	Гірчиця	800—1500	—
Сочевниця	120—200	—	Льон	1000	—
Квасоля	150—250	10—13	Редька	1000—	—
Соя	150—170	—		1500	—
Пшениця	150—250	13—18	Бруква	2000	—
Ячмінь	150—250	13—18	Редис	2000	50
Перець	190—360	—			

* Означає, що немає даних.

Найвища радіочутливість серед рослин і, мабуть, серед усіх живих організмів у лілії. Тому вона,

як виняток, потрапила в цю таблицю. Як бачимо, напівлетальна доза для рослин лілії становить лише 0,5—1 Гр, а летальна — 2 Гр (ЛД₁₀₀ Для всіх організмів, як правило, в 1,7—2,3 раза вища за ЛД₅₀). А стійкість насіння лілії проти радіації в 10—20 разів більша.

До рекордсменів за чутливістю до іонізуючих випромінювань належать хвойні рослини, і насамперед сосна та ялина, для яких летальні дози становлять відповідно 4—6 і 5—10 Гр. Через це під час аварії на Чорнобильській АЕС загинув сосновий ліс на площі 500 га. Водночас радіостійкість лісових масивів, що складаються з ялини і листяних порід, вища і вони залишилися живими, хоч і досі зберігають деякі ознаки променевої хвороби і зазнали різних морфологічних змін.

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

Максимальна радіостійкість серед вищих рослин у представників родини хрестоцвітих (редису, редьки, брукви та ін.). Так, напівлетальна доза для вегетуючих рослин редису в 50—100, а для насіння — у 100—200 разів вища для найбільш радіочутливих родів і становить відповідно 50 і 2000 Гр.

Досить широке варіювання напівлетальних доз для окремих родів рослин дає деяке уявлення про різницю між радіочутливістю окремих видів. Але вона може істотно відрізнятись і в різних сортів. В цьому немає нічого дивного, оскільки різні сорти мають різну стійкість проти різних факторів: низьких та високих температур, хімічних речовин, хвороб тощо. Відомо, наприклад, що для сортів пшениці напівлетальні дози відрізняються в 3 рази, а для гороху — в 5 разів.

Надзвичайно висока радіостійкість у нижчих рослин — грибів, водоростей, лишайників. Чемпіон серед них, як і серед усіх видів рослин — синьозелені водорості, які ще називають ціанобактеріями, або ціанеями. Напівлетальні дози для деяких з видів їх досягають 12-16 кГр. В цьому відношенні вони поступаються лише вірусам — найелементарнішій і найпростішій неклітинній формі живих організмів.

Радіочутливість тварин

З відомостей про радіочутливість тварин важливими для людини є насамперед дані про представників класу хребетних — ссавців. Найявні дані про їх представників стосуються передусім дрібних лабораторних тварин — мишей, щурів, кролів, хом'яків, собак. Менше відомостей є про радіочутливість великих тварин (корів, коней, верблюдів), дослідження яких пов'язані із значними витратами. Приблизними є також дані про радіочутливість людини, що ґрунтуються на випадкових даних, здобутих під час аварій, в умовах яких точна дозиметрія просто неможлива.

У табл. 7 наведено дані про радіочутливість деяких видів ссавців, узагальнені нами на основі існуючих в радіобіологічній літературі відомостей. Як видно з таблиці, для деяких з них значення напівлетальних і летальних доз варіюють у широких межах. Пояснити це особливостями видів і порід тварин не можна. Як показують досліди, це залежить передусім від особливостей опромінення, віку тварин, їх фізіологічного стану. Для більшості родів ссавців напівлетальна доза не перевищує 5—8, а летальна — 9—10 Гр. До найбільш радіочутливо-го виду сільськогосподарських тварин відносять овець, мінімальне значення ЛД_{50/30} (оцінку виживання проводили на 30 день) для яких становить лише 1,5 Гр, а до найбільш радіостійких — кролів, ЛД_{50/30} для яких досягає 8—10 Гр (радіочутливість молодих тварин вища, ніж дорослих).

Радіобіологи Московського університету в 60-х роках виявили в Прибайкаллі популяцію гризунів — монгольських піщанок, тварин підродино хом'якових, напівлетальна доза для яких досягає 13, а летальна — 18 Гр. Поки що це рекордсмен за радіостійкістю серед ссавців.

Серед хребетних тварин більшу радіостійкість, ніж ссавці, мають птахи. Напівлетальна доза для більшості їх видів, у тому числі і для домашньої птиці, досягає 8-25 Гр. Для різних порід курей ці дози коливаються від 10 до 15 Гр, качок — від 12 до 16, риб — 5-20 Гр. Для амфібій вони трохи вищі — до 25-30 Гр. Широко варіюють ці дози і для плазунів: для

найбільш радіочутливих представників цього класу — черепах 15-20, а для найбільш радіостійких — змії 80-200 Гр.

Набагато вищу радіостійкість виявляють безхребетні тварини. Для більшості видів комах напівлетальна доза становить 50-300, а летальна — 100-500 Гр, хоч для деяких видів вона може досягати 1000 Гр. Радіочутливість комах дуже залежить від стадії їх розвитку. Наприклад, для 3-годинних яєць дрозофіли (плодової мушки), яка відрізняється, до речі, від інших комах досить високою радіочутливістю, напівлетальна доза дорівнює лише 2 Гр, для 4-годинних — 5, для 7,5-годинних — 8, для лялечок — 20-65, а для дорослої особини — 95 Гр. Для різних моллюсків напівлетальні дози варіюють від 20 до 200 Гр, для членистоногих — від 100 до 1000 Гр, для кишковопорожнинних — від 50 до 2500 Гр, для простих (амеб, інфузорій) — від 1000 до 3000 Гр.

Радіочутливість бактерій і вірусів

Найнижчу радіочутливість серед живих організмів мають бактерії роду мікрококкус, виявлені в каналі одного атомного реактора, де потужність дози опромінення становить близько 12 Гр/с, або понад 1 млн Гр/добу. У цих умовах бактерія не тільки виживала, а й розмножувалась. Напівлетальна доза *гострого* гамма-опромінення, за даними різних дослідників, для неї становить від 3000 до 7500 Гр. У зв'язку з такою високою радіостійкістю ця бактерія дістала назву «мікрококкус радіостійкий».

Але серед бактерій є представники, для яких напівлетальна доза набагато нижча (300—500 Гр). Одна з найбільш радіочутливих бактерій — кишкова паличка. Для неї LD_{50} становить 30—60 Гр. Для більшості бактерій напівлетальні дози знаходяться в діапазоні 300—2000 Гр. Спори бактерій (бактерії в стані спокою) ще стійкіші проти опромінення.

Найбільша радіостійкість серед живих організмів у вірусів — для них LD_{50} коливається від 4000 до 8000 Гр. У стані спокою їх радіостійкість набагато вища. А летальні дози для них досягають 20 кГр. З урахуванням цих доз визначають дози для радіаційної стерилізації матеріалів і препаратів медичного *ти* ветеринарного призначення, знезаражування продукції рослинництва і тваринництва. В окремих випадках ці дози досягають 20—25 кГр.

Радіочутливість рослинних угруповань

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

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

Основним фактором, що призводить до порушення зв'язків між різними видами рослин, є радіобіологічні реакції найбільш радіочутливих з них. Хоча небезпечні для фітоценозу дози можуть істотно відрізнитися від доз, що зумовлюють помітні порушення ростової або якої-небудь іншої реакції в окремих видів рослин, радіостійкість окремих рослин відіграє важливу роль у загальній їх радіостійкості. Оскільки зміни фітоценозу виникають переважно внаслідок хронічного опромінення, потужність дози є важливішою характеристикою впливу, ніж загальна доза радіації. Безпечною для рослинного угруповання слід вважати таку потужність дози, при якій опромінення будь-якої тривалості не викликає його змін. На жаль, її значення дуже важко, навіть неможливо оцінити. Вона, очевидно, не повинна набагато перевищувати природний радіаційний фон.

Зміни в структурі фітоценозу позначаються на біоценозі в цілому, впливаючи на його

зоологічні та мікробні компоненти, різні регуляторні зв'язки між ними. Це, в свою чергу, може призвести до змін біоценозу регіону і навіть екосистеми.

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

Особливості дії малих доз іонізуючих випромінювань на живі організми

Радіочутливість, як уже зазначалося — це здатність організмів реагувати на мінімальні дози випромінювань. Яку дозу слід вважати мінімальною? Якщо робити висновки на основі дози, що індукує стимуляційні явища, тобто перший радіобіологічний ефект, який можна побачити неозброєним оком, то, як свідчать дані табл. 7, для проростків бобів вона становить 0,2 Гр, для проростків редису — 3, для курячих яєць — 0,01—0,05, а для комах — до 45 Гр. Отже, поняття «малої дози», або мінімальної, здатної викликати реакцію організму на дію радіації, досить відносно і залежить від радіочутливості організму.

Дози 0,01—0,3 Гр на перший погляд не тільки не спричинюють будь-яких уражень в організмі ссавців, а навіть активізують деякі функції (прискорення росту, розвитку, підвищення плодючості тощо). Є дані, що ці дози сприяють навіть збільшенню тривалості життя лабораторних тварин. Чи можливо на основі цього стверджувати, що коли великі дози іонізуючого випромінювання шкідливі для всього живого на Землі, то малі не тільки не шкідливі, а, навпаки, в певних умовах можуть виявитися корисними? Як ліки, корисні в малих дозах, перетворюються на отруту у великих. Питання, як і наведене порівняння, цілком слушне. Але дати на нього однозначну відповідь поки що нелегко.

Дійсно, існує думка, що все живе на нашій планеті сформувалося в умовах збільшених порівняно з теперішніми рівнями доз природного іонізуючого випромінювання і що воно в певних дозах необхідне для рослин, тварин, людини та інших організмів, як і сонячна радіація, вода, елементи живлення та інші чинники. Більше того, як зазначалося, іонізуючим випромінюванням приписується роль основного рушія еволюції, що породив таку різноманітність видів живих організмів. Чи можна вважати на основі цього, що малі дози можуть сприятливо впливати на них? Факти суперечливі.

Так, з одного боку, є відомості про спеціально проведені дослідження в умовах особливих камер, розміщених глибоко під землею приміщеннях, шахтах, які показали, що при зниженні природного радіаційного фону в кілька разів сповільнюються поділ клітин, ріст і розвиток інфузорій, комах, рослин, тварин. Але досить лише за допомогою штучного джерела опромінення відновити звичайний рівень радіації, як процеси росту і розвитку нормалізуються. Отже, для нормального розвитку живих організмів іонізуюче випромінювання необхідне. З іншого боку, встановлено, що при дозах, які спричинюють стимуляцію, зростає в кілька разів кількість мутацій. Якщо говорити тільки про сільськогосподарські рослини і сільськогосподарських тварин, опромінених з метою підвищення їхньої продуктивності, то це не має істотного значення. Існуюча система періодичного оновлення посівного матеріалу практично виключає можливість поширення індукованих мутантів у культурних рослин. Неважко припинити передачу мутацій і у тварин. Але мутації в клітинах людини при малих дозах опромінення можуть призвести до генетичних порушень в наступних поколіннях. Саме на такі факти спирається концепція безпорогової дії іонізуючих випромінювань, про яку вже згадувалося.

Відомо також, що живі організми, в тому числі сільськогосподарські рослини і тварини, опромінені малими дозами радіації, більшою мірою, ніж неопромінені, піддаються різним

інфекційним захворюванням, менш стійкі проти шкідливих факторів навколишнього середовища — приморозків, посух, різних хімічних чинників, тобто у них знижений імунітет.

На жаль, поки що радіобіологія не має достатньо певних даних про можливий вплив підвищеного або зниженого радіаційного фону на ці реакції організму, зокрема на генетичні зміни, частоту спадкових захворювань. Існуючі рекомендації та розрахунки ґрунтуються переважно на дослідах з рослинами і тваринами і ще далекі від реальних ефектів. Більше того, будь-який негативний в цьому відношенні факт, навіть один на тисячу позитивних, особливо коли йдеться про здоров'я людини, примушує бути дуже обережним у поспішних і однозначних висновках. І хоч деякі радіобіологи беруть на себе сміливість говорити про якісь нешкідливі дози іонізуючих випромінювань, переважна більшість відверто визнає, що наших знань поки що недостатньо, щоб, враховуючи велику відповідальність перед людством, давати певні рекомендації про абсолютно нешкідливі дози опромінення.

Критичні органи

Радіочутливість як рослин, так і тварин визначається чутливістю до іонізуючого випромінювання тканин, клітини яких перебувають у стані поділу. Хоч в організмі їх не більше кількох відсотків від усієї маси клітин, але саме вони внаслідок своєї найбільшої ураженості радіацією відповідальні за реакцію на дію - випромінювань. Тому вони дістали назву критичних органів.

Критичні органи — це життєво важливі органи або системи організму, які першими ушкоджуються і виходять з ладу при опроміненні іонізуючим випромінюванням, що зумовлює всі радіобіологічні ефекти, аж до загибелі організму.

Поняття про критичні органи вперше склалося в радіобіології тварин. До критичних відносять такі постійно обновлювані за рахунок поділу клітин органи і тканини, як кровотворні, насамперед кістковий мозок, епітелій травного каналу, ендотелій судин, статеві залози та ін. Саме вони є найбільш радіочутливими тканинами ссавців, відповідальними за кінець захворювання, яке виникло за певного рівня променевого ураження, саме їх ушкодження призводить до розвитку кістково-мозкового і травного синдромів, що спричинюють променеву хворобу і загибель організму.

У вищих рослин, до яких належать усі сільськогосподарські культури, подібні властивості мають меристеми — утворювальні тканини, клітини яких тривалий час, а інколи упродовж усього життя перебувають у стані поділу і здатні утворювати нові клітини, тканини і органи. Внаслідок цього клітини меристем, як і критичних органів ссавців, надзвичайно високочутливі до іонізуючих випромінювань. Їх радіочутливість у десятки і сотні разів вища за радіочутливість інших тканин рослини. Радіаційне ураження меристем призводить до ураження і променевої хвороби всієї рослини, а їх загибель — до загибелі рослини. Тому меристеми називають критичними органами рослин. З цих позицій радіочутливість рослин слід розглядати передусім як радіочутливість їх меристем, яка визначається здатністю зберігати постійний клітинний склад і підтримувати нормальні темпи клітинного розмноження при опроміненні.

За аналогією з критичними органами ссавців та інших тварин до критичних органів вищих рослин, слід віднести і статеві (генеративні) органи — такі елементи квітки, як пилок, яйцеклітина, які також мають високу радіочутливість.

Підсумовуючи викладене вище, треба зазначити, що проблема радіочутливості організмів є однією з провідних у радіобіології. І не тільки відносно вивчення рівнів радіочутливості організмів різних систематичних груп, що взагалі важливо й цікаво, а й з позиції дослідження причин їх різної радіочутливості. Знання причин високої радіостійкості деяких видів живих організмів — це ключ до вирішення одного з головних завдань радіобіології — управління радіобіологічними ефектами, або модифікацією радіаційного ураження організму.

Дія іонізуючого випромінювання на організм людини

При вивченні дії іонізуючого випромінювання на організм людини були виявлені наступні особливості.

1. У людини відсутні органи чуття, що реагують на іонізуюче випромінювання, тому його дія на організм людини відбувається непомітно.

2. Висока ефективність поглинутої енергії. Навіть невелика кількість поглинутої енергії іонізуючого випромінювання може спричинити суттєві біологічні зміни в організмі людини.

3. Наявність прихованого (інкубаційного) періоду виявлення дії іонізуючого випромінювання. Цей період, який ще часто називають періодом уявного благополуччя, тим менший, чим вища доза опромінення.

4. Дія малих доз іонізуючого випромінювання може накопичуватись (кумулятивний ефект).

5. Іонізуюче випромінювання діє не лише безпосередньо на людину, а й на її потомство (генетичний ефект).

6. Різні органи організму людини мають різну чутливість до іонізуючого випромінювання (табл. 1).

7. Ступінь дії іонізуючого випромінювання залежить від індивідуальних особливостей організму людини.

8. Наслідки опромінення істотно залежать від його дози та частоти. Одноразова дія іонізуючого випромінювання великої дози зумовлює більші зміни в організмі людини, ніж його фракціонована дія.

9. Залежно від еквівалентної дози опромінення та індивідуальних особливостей людини зміни в її організмі можуть набути незворотного характеру.

Таблиця 1

Коефіцієнти радіаційного ризику K_r різних органів (тканин) при рівномірному опроміненні всього організму людини

№ з/п	Орган, тканина	K_r
1	Яйники, або сім'яники	0,24
2	Молочні залози	0,15
3	Легені	0,12
4	Червоний кістковий мозок	0,12
5	Щитоподібна залоза	0,03
6	Інші органи та тканини	0,34
7	Організм у цілому	1,0

Дія іонізуючого випромінювання на організм людини може бути зовнішньою, внутрішньою (якщо радіоактивна речовина потрапила в організм людини при вдиханні чи з їжею) та комбінованою. Ступінь радіаційного ураження залежить від виду випромінювання, тривалості та дози опромінення, фізико-хімічних властивостей радіоактивної речовини та індивідуальних особливостей організму людини.

Іонізуюче випромінювання, проникаючи в організм людини, передає свою енергію органам та тканинам шляхом збудження та іонізації атомів і молекул, що входять до складу клітин організму. Це веде до зміни хімічної структури різноманітних з'єднань, що призводить до порушення біологічних процесів, обміну речовин, функції кровотворних органів, змін у складі крові тощо. Радіаційні ураження можуть бути загальними та місцевими (променеві опіки шкіри, слизових оболонок і т. ін.). У табл. 2. наведено характерні біологічні та функціональні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні:

Таблиця 2.

Характерні порушення в організмі людини залежно від сумарної поглинутої дози при одноразовому загальному опроміненні

Сумарна поглинута доза, Гр	Порушення в організмі людини
До 0,25	Помітних порушень немає
0,25—0,50	Можливі зміни в крові
0,5—1,0	Зміни в крові, нормальний стан працездатності порушується
1,0—2,0	Погіршується самопочуття, можлива втрата працездатності
2,0—4,0	Втрата працездатності, можливий смертельний наслідок
4,0—5,0	Смертельні випадки становлять 50 % від загальної кількості уражених людей
6,0 і більше	Смертельні випадки становлять 100 % від загальної кількості уражених людей

Тривала дія іонізуючого випромінювання в дозах, що перевищують гранично допустимі, може спричинити променеву хворобу, яка характеризується зазвичай такими ознаками: порушення сну, погіршення апетиту, сухість шкіри (перша стадія); розлади органів травлення, порушення обміну речовин, зміни серцево-судинної системи, руйнування кровоносних судин (друга стадія); крововиливи в судинах мозку та серцевому м'язі, випадіння волосся, катаракта, порушення діяльності статевих органів, генетичні порушення (третя стадія).

Нормування іонізуючого випромінювання

Допустимі дози іонізуючого випромінювання регламентуються «Нормами радіаційної безпеки України» 1997 р. (НРБУ-97). Згідно з цим нормативним документом визначені наступні категорії опромінюваних осіб:

- категорія А - особи, що постійно чи тимчасово працюють з джерелами іонізуючого випромінювання;

- категорія Б - обмежена частина населення (особи, що не працюють безпосередньо з джерелами випромінювання, але за умовами проживання або розташування робочих місць можуть підлягати опроміненню);

- категорія В - населення області, країни.

За ступенем чутливості до іонізуючого випромінювання встановлено три групи критичних органів (тканин) організму, опромінення яких спричинює найбільшу шкоду здоров'ю людини:

I - усе тіло, статеві органи, червоний кістковий мозок; II - щитоподібна залоза, м'язи, жирова тканина, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталик ока; III - кісткова тканина, шкіра, кисті, передпліччя, литки, стопи. Залежно від групи критичних органів для осіб категорії А встановлено гранично допустиму дозу (ГДД) за рік, а для осіб категорії Б - границю дози (ГД) за рік (табл. 3)

Таблиця 3

Дози опромінення для різних груп критичних органів осіб категорії А та Б, мЗв/рік

Група критичних органів	Гранично допустима доза для осіб категорії А	Границя дози для осіб категорії Б
I	50	5
II	150	15
III	300	30

Еквівалентна доза Н (бер) накопичення в критичному органі за період Т (років) від початку професійної роботи не повинна перевищувати значень, що визначаються за формулою:

$$H = ГДД \cdot T.$$

Для населення (категорії В) доза опромінення не регламентується, оскільки передбачається, що воно відбувається переважно за рахунок природного фону та рентгенодіагностики, дози яких незначні й не можуть спричинити в організмі відчутних несприятливих змін.

Захист від іонізуючого випромінювання

Умови безпеки при використанні радіоактивних ізотопів у промисловості передбачають розробку комплексу захисних заходів та засобів не лише стосовно осіб, які безпосередньо працюють з радіоактивними речовинами, але й тих, хто знаходиться у суміжних приміщеннях, а також населення, що проживає поруч з небезпечним підприємством (об'єктом). Засоби та заходи захисту від іонізуючого випромінювання поділяються на: організаційні, технічні, санітарно-гігієнічні та лікувально-профілактичні.

Організаційні заходи від іонізуючого випромінювання передбачають забезпечення виконання вимог норм радіаційної безпеки. Приміщення, які призначені для роботи з радіоактивними ізотопами повинні бути ізольовані від інших і мати спеціально оброблені стіни, стелі, підлоги. Відкриті джерела випромінювання і всі предмети, які опромінюються повинні знаходитись в обмеженій зоні, перебування в якій дозволяється персоналу у виняткових випадках, та й то короткочасно. На контейнери, устаткування, двері приміщень та інші об'єкти наноситься попереджувальний знак радіаційної небезпеки (на жовтому фоні - чорний схематичний трилисник).

На підприємствах складаються та затверджуються інструкції з охорони праці, у яких зазначено порядок та правила безпечного виконання робіт. Для проведення робіт необхідно, за можливостю, обирати якнайменшу достатню кількість ізотопів ("захист кількістю"). Застосування приладів більшої точності дає можливість використовувати ізотопи з меншою активністю ("захист якістю"). Необхідно також організувати дозиметричний контроль та своєчасне збирання і видалення радіоактивних відходів із приміщень у спеціальних контейнерах.

До технічних заходів та засобів захисту від іонізуючого випромінювання належать: застосування автоматизованого устаткування з дистанційним керуванням; використання витяжних шаф, камер, боксів, що оснащені спеціальними маніпуляторами, які копіюють рухи рук людини; встановлення захисних екранів.

Санітарно-гігієнічні заходи передбачають: забезпечення чистоти приміщень, включаючи щоденне вологе прибирання; улаштування припливно-витяжної вентиляції з щонайменше п'ятиразовим повітрообміном; дотримання норм особистої гігієни, застосування засобів індивідуального захисту.

До лікувально-профілактичних заходів належать: попередній та періодичні медогляди осіб, які працюють з радіоактивними речовинами; встановлення раціональних режимів праці та відпочинку; використання радіопротекторів - хімічних речовин, що підвищують стійкість організму до іонізуючого опромінення.

Захист працівника від негативного впливу джерела зовнішнього іонізуючого випромінювання досягається шляхом:

- зниження потужності джерела випромінювання до мінімально необхідної величини ("захист кількістю");
- збільшення відстані між джерелом випромінювання та працівником ("захист відстанню");
- зменшення тривалості роботи в зоні випромінювання ("захист часом");
- встановлення між джерелом випромінювання та працівником захисного екрана ("захист екраном").