

**Міністерство аграрної політики України
Миколаївський державний аграрний університет**

Давиденко В. М.

РАДІОБІОЛОГІЯ

**Миколаїв
2011**

**Міністерство аграрної політики України
Миколаївський державний аграрний університет**

Давиденко В. М.

РАДІОБІОЛОГІЯ

затверджено Міністерством аграрної політики України як навчальний посібник для підготовки фахівців зі спеціальності 6.090201 “Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва” аграрних вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації

**Миколаїв
2011**

УДК 57. 043: 63: 37. 022

Д 13

Посібник по курсу “Радіобіологія” для студентів зооінженерних, технології тваринництва, агрономічних, біологічних, природничих та екологічних факультетів аграрних вищих навчальних закладів III-IV рівнів акредитації друкується згідно рішення методичної Ради Миколаївського державного аграрного університету.

Рецензенти:

Чорний С.Г., доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри Миколаївського державного аграрного університету;

Рожков І. М., кандидат біологічних наук, завідувач кафедри Миколаївського державного університету ім. В.О.Сухомлинського;

Томілін Ю.А., член-кореспондент Української екологічної академії наук, кандидат біологічних наук, професор Миколаївського гуманітарного університету ім. Петра Могили;

Баранов В.А., кандидат ветеринарних наук, доцент Херсонського державного аграрного університету.

Навчальне видання

Давиденко В. М. Радіобіологія / В.М. Давиденко – Миколаїв: Видав. МДАУ, 2011. – 265 с.

Д 13

Радіобіологія: Навчальний посібник для студентів зооінженерних, технології тваринництва, агрономічних, лісівничих, біологічних, природничих, екологічних факультетів вищих навчальних закладів III, IV рівнів акредитації. – Миколаїв: Вид-во МДАУ, 2011. – 248 с.

У навчальному посібнику викладено теоретичне і практичне значення, предмет і методи дослідження, історія та внесок вітчизняних і зарубіжних вчених у розвиток радіобіології.

Дається характеристика іонізуючого випромінювання (природного та штучного, відкритих та закритих джерел радіації).

Вказуються групи радіонуклідів за токсичністю, радіочутливість різних живих систем, критичні щодо радіації органи рослин і тварин.

Характеризуються шляхи міграції радіонуклідів у повітрі, воді, ґрунті.

Викладено форми (фізичні, хімічні, біологічні) радіаційного ураження живих систем.

Пояснюються стохастичні, детерміністичні радіаційні ефекти; поняття радіомодифікація, радіосенсибілізація і радіопротекція, радіаційно індукований апоптоз і гормезис.

Висвітлено вплив великих і малих доз радіації на біологічні системи тощо.

Наведено галузі і методи використання радіації та опис необхідного обладнання для радіаційного обстеження і дозиметрії природних та сільськогосподарських об'єктів.

Викладено основи радіометрії та правила відбору проб для аналізу, принципи і правила радіаційної безпеки, природокористування і ведення сільського господарства в умовах радіаційного забруднення.

Викладено дію іонізуючого опромінення на рослини і тварин, застосування радіації у тваринництві, ветеринарії.

Давиденко Володимир Маркович

Радіобіологія

Навчальний посібник

Комп'ютерна верстка Давиденко К. В., Давиденко В. М.

Коректор Воротинцева Г. В.

Комп'ютерний дизайн обкладинки Рогачова Л. В.

Підписано до друку

Формат 64 x 80 1/16

Папір офсетний. Гарнітура

Ун. Друк. Арк. Обл. вид. арк

Зам. Наклад 100 прим.

I S B N

Надруковано

Зміст

Вступ.....	8
1. ВВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ.....	11
1.1. Суть і зміст радіації.....	11
1.2. Визначення радіобіології.....	13
1.3. Предмет, задачі і методи дослідження радіобіології	14
1.4. Історія науки та внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології	16
Контрольні питання.....	22
2. РАДІОАКТИВНІ РЕЧОВИНИ І РАДІОАКТИВНІСТЬ	22
2.1. Будова атома та радіоактивні перетворення ядер.....	23
2.2. Характеристика живої клітини.....	25
2.3. Радіоактивні речовини, елементи, ізотопи і препарати.....	28
2.4. Радіоактивність	32
2.5. Групи радіонуклідів за токсичністю	35
2.6. Радіочутливість.....	36
2.6.1. Біологічна дія різних видів радіації. Закон Бергоньє-Трибонто.....	39
2.7. Модифікація радіобіологічних ефектів.....	40
2.8. Дія малих доз іонізуючого випромінювання	41
2.8.1. Генетичні ефекти опромінення в малих дозах	44
Контрольні питання	44
3. НОРМИ І ТЕХНІКА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ	45
3.1. Принципи радіаційної безпеки.....	45
3.2. Дозові межі і допустимі рівні опромінення людей різних категорій	48
3.3. Захист від іонізуючого випромінювання.....	55
3.4. Дезактивація робочих приміщень і обладнання.....	58
3.5. Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами.....	59
3.6. Вимоги до облаштування і організації роботи в радіологічних лабораторіях	64
3.7. Протирадіаційні засоби	65
Контрольні питання.....	69
4. ЧУТЛИВІСТЬ ТВАРИН РІЗНИХ ВИДІВ ДО ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ	70
4.1. Чутливість тварин до радіації	70
4.2. Часткове (локальне) опромінення тіла тварин і опромінення всього їх тіла.....	73

4.3. Іонізуюче ураження окремих біологічних систем	73
4.4. Вплив опромінення на формені елементи крові	74
4.5. Вплив опромінення на здатність тварин до розмноження та їх спадковість	75
4.6. Канцерогенна дія опромінення	76
4.7. Класифікація і клініка променеви хвороб	77
4.8. Розвиток толерантності до опромінення.....	78
Контрольні питання.....	79
ПЕРВИННЕ ЗАБРУДНЕННЯ І ПЕРЕРОСПОДІЛ	
РАДІОНУКЛІДІВ У ПРИРОДІ	80
5.1. Міграція радіонуклідів у атмосфері	80
5.2. Міграція радіонукліди у водоймах.....	82
5.3. Міграція радіонукліди в ґрунті.....	83
5.4. Радіонукліди в лісі	84
5.5. Радіаційне забруднення тварин та їх вплив на міграцію радіонуклідів.....	85
5.6. Групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів.....	86
Контрольні питання.....	87
ОСНОВИ РАДІОМЕТРІЇ ТА ПРАВИЛА ВІДБОРУ ПРОБ	88
6.1. Суть і задачі радіометрії.....	88
6.2. Терміни і норми відбору проб.....	89
6.3. Правила відбору проб води та інших рідин	91
6.4. Відбір проб ґрунту	91
6.5. Відбір проб рослин	91
6.6. Відбір проб зерна.....	91
6.7. Відбір проб коренебульбоплодів	91
6.8. Відбір проб трави і зеленої маси сільськогосподарських культур	92
6.9. Відбір проб сіна і соломи	92
6.10. Відбір проб молока і молочних продуктів.....	92
6.11. Відбір проб м'яса і субпродуктів.....	92
6.12. Відбір проб риби	93
6.13. Відбір проб яєць.....	93
6.14. Відбір проб меду.....	93
Контрольні питання.....	93
7. ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ	94
7.1. Біологічна дія іонізуючого опромінення.....	94
. Фізичні наслідки іонізуючого опромінення	97
7.3. Променеві ушкодження великих тварин.....	98
7.4. Системні радіобіологічні реакцій.....	101
7.4.1. Інтегративність радіобіологічних реакції	102
7.4.2. Генетична нестабільність індукована опроміненням.....	102
7.4.3. Дистанційні ефекти опромінення.....	103
Контрольні питання.....	104

8. ЗАХОДИ ЗАПОБІГАННЯ ВСМОКТУВАННЯ ТА ПРИСКОРЕННЯ ВИВЕДЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ З ОРГАНІЗМУ	104
8.1. Шляхи надходження радіонуклідів до організму.....	104
8.2. Речовини та механізми, що профылактують проникнення до організму або забезпечують виведення радыонуклыдыв.....	107
8.3. Шляхи виведення радіонуклідів з організму.....	111
Контрольні питання	113
9. ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ГРУНТУ, ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВІД РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ.....	114
9.1. Дезактивація харчових продуктів.....	114
9.2. Зменшення забруднення житлових приміщень.....	116
9.3. Дезактивація ґрунту	117
9.4. Очищення питної води.....	117
Контрольні питання.....	118
10. ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОСЛИНИ.....	118
Механізм прямої та посередньої дії радіації на клітинні структури і весь організм.....	118
Етапи дії радіації	119
Радіочутливість рослин у залежності від їх біологічних особливостей і фаз росту.....	121
Вплив радіації на якість продукції рослинництва.....	123
Контрольні питання.....	124
11. РАДІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У РОСЛИННИЦТВІ, ТВАРИННИЦТВІ ТА ВЕТЕРИНАРНІЙ МЕДИЦИНІ.....	125
Радіаційні технології у тваринництві.....	125
Радіаційні технології у ветеринарній медицині.....	127
Контрольні питання.....	128
12. ЧОРНОБИЛЬ.....	129
12.1. Сторінки історії і причини аварії.....	129
12.2. Аварія на ЧАЕС.....	132
12.3. Наслідки аварії на ЧАЕС.....	135
12.4. Філософія подій.....	144
Контрольні питання.....	146
13. ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА ТЕРИТОРІЯХ ЗАБРУДНЕНИХ РАДІАЦІЄЮ.....	147
13.1. Загальна характеристика ситуації сільськогосподарського виробництва в Україні.....	147
13.2. Концепція ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях.....	149
Контрольні питання.....	154
14. БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПРИРОДНОЇ РАДІАЦІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	154
14.1. Природна радіація та її вплив на живі клітини.....	154

14.2. Вплив природної радіактивності на еволюцію видів.....	155
Контрольні питання	156
Словник понятійних термінів.....	157
Питання для самоконтролю та примірні теми рефераті по курсу “Радіобіологія”	182
Примірна форма складання тестів по курсу “Радіобіологія.....	183
Предметний покажчик.....	187
Додатки.....	191
Література.....	196

В С Т У П

Радіація відіграє значну роль у розвитку цивілізації на даному історичному етапі. Завдяки радіації здійснені значні досягнення в науці, медицині, промисловості, зокрема, енергетиці тощо. Життя без радіації не можливе, як воно неможливе без кисню, гравітації, магнітного поля тощо. Але одночасно з цим стали все частіше виявлятися негативні властивості радіації. Тому радіоактивність необхідно розглядати як невід'ємну складову нашого життя, але без знання закономірностей процесів, пов'язаних з іонізуючим випромінюванням, неможливо реально і об'єктивно оцінювати ситуацію. Радіобіологічна обізнаність має виключати як *“радіоейфорію”*, так і *“радіофобію”*. За європейськими стандартами радіаційна обізнаність населення України до 1986 року була майже повністю відсутня, а після 1986 року оцінюється як низька. Нині обізнані з радіацією 28,5% українців, мають якість уявлення 51,3%, а 19,0 населення не мають ніякого уявлення про суть іонізуючої радіації. Це підтверджує особливе значення вивчення радіобіології студентами вищих навчальних закладів аграрного напрямку.

Термін *“іонізуюче випромінювання”* характеризує будь-яке випромінювання, що прямо або посередньо викликає іонізацію оточуючого середовища. Особливістю іонізуючих випромінювань є те, що всі вони відзначаються високою енергією і викликають зміни в біологічній структурі клітини, які можуть призвести до їх загибелі. Одже, поняття *“іонізуюче випромінювання”* об'єднує різноманітні види за своєю природою випромінювань. Подібність їх полягає в тому, що усі вони відрізняються високою енергією, мають властивості іонізувати і руйнувати біологічні об'єкти.

На іонізуючі випромінювання не реагують органи чуття людини, що робить їх особливо небезпечними.

Іонізуюче випромінювання нині є одним із методів вивчення життя. У природі не існує феномена, який був би не піддатний модифікуючій дії радіації. Тому в основі методології радіобіології має передбачатися те, що живі організми, якщо якоюсь мірою і адаптуються до радіації, до змін довкілля, то значно повільніше, ніж людина використовує радіацію, змінює довкілля. Тому радіобіологія як наука про дію всіх видів іонізуючого випромінювання на живі організми, їх сукупності й біосферу, певною мірою, відноситься до всіх галузей біології. Радіобіологія межує з радіологією, фотобіологією, радіоекологією тощо. Радіобіологія тісно пов'язана з фізикою і хімією, зокрема з атомом, живою клітиною, елементом, молекулами, речовинами. У природі 94 хімічні елементи, що за нормальної температури та тиску набувають наступного агрегатного стану: 2 ридин, 11 газів та 81 твердої речовини. Крім того, відкриті 15 трансуранових елементів (номери з 95 по 109 періодичної таблиці Д.І. Менделєєва).

Як самостійна наука радіобіологія формується в 40-ві роки ХХ століття, основними задачами якої є:

всебічне дослідження радіаційного ураження багатоклітинних організмів за умови їх тотального опромінення;
 встановлення причин різної радіочутливості організмів;
 вивчення ролі радіації у виникненні шкідливих мутацій, уражень генеративних та соматичних клітин;
 вивчення закономірностей появи віддалених наслідків опромінення (скорочення тривалості життя, зниження імунитету, появи пухлин);
 пошуки різних засобів захисту організму від опромінення і методів його післярадіаційного відновлення від ураження;
 прогнозування небезпеки для людства все зростаючого рівня радіації природнього середовища;
 пошуки нових шляхів використання іонізуючого випромінювання в різних галузях науки і практики, наприклад, медицині, ветеринарії, сільському господарстві (генетика, селекція, зоогігієна, мікробіологія тощо), харчовій промисловості, техніці, геології, археології, космічній справі тощо.
 Основний об'єкт дослідження радіобіології – реакції біологічних систем на дію іонізуючого випромінювання.

Фундаментальною задачею радіобіології є виявлення загальних закономірностей біологічної реакції організму на радіацію, на підставі чого можна б було прогнозувати наслідки дії іонізуючого опромінення, певною мірою керувати реакціями організму тощо. Це визначає радіобіологію як самостійну комплексну експериментальну, мультидисциплінарну науку, що має зв'язки з рядом теоретичних та прикладних наук. Окрім того, радіобіологія вивчає наслідки хронічної дії різних доз радіації, механізми гострого променевого ураження, різні методи (фізичні, хімічні, біологічні) захисту організму від радіаційного ураження.

Основний об'єкт досліджень радіобіології є вивчення реакції біологічних систем на дію іонізуючого випромінювання.

Радіобіологія формує світобачення, допомагає віртуально осмислити позитивне і недоліки науково-технічного прогресу. З розвитком техніки все більш актуальним стає проблема біологічної дії не іонізуючих магнітних випромінювань з великою довжиною хвиль, таких як УВЧ, міліметрові, сантиметрові і дециметрові радіохвилі, дія яких пов'язана з локальним, нерівномірним нагрівом ультраструктур тканин і залежить від сили і модуляції опромінення. Радіовипромінювання метрового і більшого діапазону, мабуть, біологічною дією не володіють.

Радіобіологічні розробки використовуються у різних галузях народного господарства. Так, у сільському господарстві застосовують передпосівну обробку насіння з метою підвищення схожості й врожайності деяких культур. У генетиці використовують іонізуюче опромінення для спрямованого мутагенезу. Останім часом впроваджується використання рентгенівської комп'ютерної топографії для вивчення змін агрофізичного стану ґрунтів під впливом добрив. Радіобіологія займається питаннями застосування іонізуючого

випромінювання, розробкою методів радіаційної стерилізації різних об'єктів, зокрема, відходів виробництва харчових продуктів, гною. Використовують різні види випромінювання як мутагенних факторів з метою одержання нових вихідних штамів мікроорганізмів, для селекції сортів рослин і порід тварин. Радіобіологія є теоретичною основою радіотерапії. Радіобіологія розробляє методи використання радіації для боротьби зі шкідниками сільськогосподарських культур. Радіаційні методи використовуються в геологорозвідці покладів, зокрема, золотоносних руд тощо.

Радіобіологія досліджує шкідливу дію радіації на всі форми і рівні життя. Вона тісно пов'язана з різними формами діяльності щодо радіаційних джерел, наприклад, атомної енергетики (АЕС), військової, наукової тощо. За умови дії великих доз радіації уражаються тканини, а малих – індукуються генетичні дефекти (рак, лейкемія, катаракта, народження генетично неповноцінного потомства тощо).

Сучасна радіобіологія є комплексною і інтеграційною галуззю знань. Вона охоплює багато напрямів науки та суспільного життя. Об'єктом її вивчення є променеве ураження, діапазон якого охоплює різні за складністю біологічні системи – від атомно-молекулярних процесів до змін у структурі екосистем. На кожному з цих рівнів реакції систем на опромінення відрізняються.

В Україні нині 4 діючих АЕС, 6 об'єктів з атомними відходами. Чорнобильський саркофаг є найнебезпечніший ядерний об'єкт у світі. Понад 5 мільйонів українців проживає в зонах з підвищеними дозами іонізуючого опромінення. Приблизно 1/16 території України забруднена радіонуклідами тільки від аварії на Чорнобильській АЕС. Південо-Українська атомна електростанція збудована на розломі сейсмічних геологічних зон, де землетруси можливі до 3-х балів досить часто, а у 1800 році на цій території був зафіксований землетрус силою до 7 балів. Окрім того, робота АЕС у таких зонах може провокувати штучні землетруси.

Вперше широке обговорення глобальних проблем радіобіології було проведено у 1955 році у Відні (Віденська конференція).

Перший етап розвитку радіобіології пов'язаний з вченими і медиками, яких називають “великими мучениками”, оскільки, майже всі вони були уражені надмірними дозами радіації, що обумовило їх тяжкі хвороби і передчасну смерть, наприклад, П. Кюрі. У 1895 році помічник Рентгена В. Груббе одержав опік руки при роботі з рентгенівськими променями, А. Беккерель, який відкрив природню радіоактивність, теж був уражений радіацією та багато інших вчених.

Розвитку радіобіології, як це не дивно, значною мірою сприяла поява загрози глобальної ядерної катастрофи, яка з 40-х років ХХ сторіччя нависла над світом. Випробування атомної зброї (станом на 2001 рік випробувань атомної зброї у повітрі провели наступні країни: Китай – 193, СРСР – 142, Франція – 45, США – 22, Великобританія – 21 вибухів; підземні випробування

атомної зброї проводяться до нині), застосування США атомної бомби при бомбардуванні Херосімо і Нагасакі в Японії, аварії на атомних виробництвах тощо висунули глобальну проблему, яка вимагає розробки заходів і способів радіаційного захисту, глибокого вивчення механізмів дії іонізуючого випромінювання на живі організми.

**СТРУКТУРА ТА ХАРАКТЕРИСТИКА НАВЧАЛЬНОЇ
ДИСЦИПЛІНИ “РАДІОБІОЛОГІЯ”
(код науки, як розділу біології в ЮНЕСКО – 2418)**

Галузь знань	0901 “Сільське господарство і лісництво”
Напрямок підготовки	6. 090102 “Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва”
Освітньо-кваліфікаційний рівень	Бакалавр
Нормативна чи вибіркова	Вибіркова
Семестр	4
Кількість кредитів ВСТС	2
Модулів (розділів, блоків змістовних модулів)	3
Загальна кількість годин	72
Види навчальної діяльності та види навчальних занять, обсяг їх годин:	
лекції	17
лабораторні	17
Самостійна робота:	
Підготовка до навчальних занять	18
Індивідуальні завдання	20
Форма підсумкових контрольних заходів	залік

Проблема біологічного впливу іонізуючого опромінення пов’язана з появою недоброякісних пухлин, ростом, розвитком, старінням та спадковістю організму. Радіаційне забруднення територій обумовлює зниження продуктивності сільськогосподарських тварин, підвищує витрати кормів на одержання одиниці продукції, значно знижує резистентність організму тварин до інфекційних та неінфекційних захворювань, негативно впливає на репродуктивну функцію диких і домашніх тварин. Нині проблеми радіобіології турбують все ширше коло фахівців різних галузей. Це теж визначає мультидисциплінарний характер радіобіології та методологію її досліджень.

Радіобіологічні дослідження проводяться в науково-дослідних закладах і університетах США, Росії, Німеччини, Японії, Англії, Франції, Китаю, Кореї, Італії, Ізраїлю, Індії, Ірану та інших. Результати цих досліджень публікуються в

монографіях, підручниках, спеціальних і періодичних виданнях, журналах [“Радіобіологія” (заснований у 1961 р.), “Radiation Research” (заснований у 1954 р.), “International Journal of Radiation Biology” (заснований у 1959 р.), “Radiation Botany” (заснований у 1961р.) та інших]. Нині діють Міжнародна асоціація радіаційних досліджень, Європейська спілка радіобіологів, наукові ради з проблем радіобіології. Регулярно, починаючи з 1953 року (Данія), скликаються міжнародні і національні симпозиуми, конгреси та конференції з проблем радіобіології.

1. ВВЕДЕННЯ В ДИСЦИПЛІНУ

1.1. Суть і зміст радіації. 1.2. Визначення радіобіології. 1.3. Предмет, задачі і методи дослідження радіобіології. 1.4. Історія науки та внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології. Контрольні питання.

1.1. Суть і зміст радіації

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

Радіація була, є і буде завжди і скрізь. Радіоактивні елементи входять до складу Землі з початку її існування і продовжують бути присутніми дотепер.

Радіація представлена корпускулярними частинками (альфа, бета, нейтронна) та електромагнітними хвилями (гама, рентгенівське), енергія яких має іонізуючу дію. Оптичні і радіохвилі теж відносяться до електромагнітних випромінювань, але не здійснюють іонізації, оскільки мають низьку енергію. Електромагнітні іонізуючі випромінювання – це рентгенівське і γ -випромінювання радіонуклідів. До корпускулярного випромінювання відносять електрони, позитрони, ядра атомів водню (протони), дейтерію (дейтрони), гелію, p -мезони, нейтрони.

Джерелами радіації є наступні: космічна, земне. Земну радіацію можна ділити на природну і штучну. Земні джерела радіації розрізняють на закриті і відкриті.

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

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

Класифікацію іонізуючої радіації можна здійснювати наступним чином:

- Корпускулярна (має масу спокою);
- Електромагнітні хвилі (фотонна).

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

Радіація характеризується своєю іонізуючою і проникливою здатністю. Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху. Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Одиниці, що використовуються для вимірювання іонізуючого випромінювання наступні:

у системі СІ	несистемні
- активність - Бк (бекерель)	Кі (кюрі)
- поглинута доза - Гр. (грей)	Рад (рад)
- еквівалентна доза - Зв (зіверт)	Бер (бер)
- експозиційна доза - Кл/кг (кулон на кг)	Р (рентген)
- ефективна еквівалентна доза – Зв (зіверт)	Бер.

Співвідношення між величинами одиниць радіації наступне:

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ розпад/сек} = 2,7 \times 10^{-11};$$

$$1 \text{ Кі} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Бк};$$

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад} = 1 \text{ Дж/кг};$$

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр} = 100 \text{ Ерг/г};$$

$$1 \text{ рад} = 1,14 \text{ Р};$$

$$1 \text{ Зв} = 100 \text{ Бер} = 1 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр};$$

$$1 \text{ Бер} = 10^{-2} \text{ Зв} = 10^{-2} \text{ Гр (Бер біологічний еквівалент рентгену)};$$

$$1 \text{ Р} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг (кулон на кілограм)}.$$

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

Радіацію не можна побачити, почути, осягати, понюхати (органи чуття не реагують на іонізуюче опромінення), зважити, але можна визначити її дози спеціальними дозиметричними приладами. Радіація володіє **кумулятивним**

ефектом, тобто малі дози опромінювання можуть накопичуватися і підсумовуватися. Радіація має не тільки пряму дію на організм, який опромінюється, а і опосередковану на потомство (*генетичний ефект*). Різні організми мають різну чутливість до радіації.

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

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

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

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

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

Радіація здатна вбивати (діючи на організм фізично, хімічно, біологічно і в комплексі, прямо і опосередковано), руйнувати, лікувати, бути джерелом енергії тощо.

Радіація руйнує всі форми життя, за умови, коли вона досягає певної дози. Пряма дія радіації в кожній формі не супроводжується відчуттям болю. Від незначної дози радіації організм захищає імунна система. Дози радіації можна поділити на допорогові – це такі дози, за дії яких організм здатний захиститися; порогові (або крайньо допустимі) і надпорогові, за умови дії яких організм уражає променева хвороба або він гине. Хоча неможна вважати, що

малі дози радіації нешкідливі, оскільки і вони здатні впливати по різному, зокрема на спадковість і мінливість організму.

Радіаційні норми доз поділяються на міжнародні, національні, регіональні.

Радіація впливає на генетичну, імунну системи, на кров і мієлопоез, на травлення. Її вплив може бути прямим і не прямим.

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

Радіація – найбільш гостра проблема сучасності. Її не можна обмежити кордонами; її тяжко обмежити часом (до повного розпаду радіоактивних речовин потрібно від секунд до декількох мільйонів років, тому термін її шкідливої дії може тривати десятки тисяч років); вона не шанує рангів, оскільки вражає як королів, імператорів, генералів, так і пастухів, солдатів та інший простий люд. Радіація фізично і хімічно здатна знищити середовище органічного життя на нашій планеті.

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

1.2. Визначення радіобіології

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. Код ЮНЕСКО радіобіології – 2418 (розділ біологія).

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.

Виникнення радіобіології пов'язане з відкриттям радіації (І. Пулюй, 1881; В.К. Рентген, 1895; Беккерель, 1896).

Вплив радіації на організм людини і тварин почали досліджувати після відкриття явища радіоактивності у 1896 році Анрі Беккерелем, П'єром Кюрі, Марією Склодовською-Кюрі.

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 уражаючої дії радіації на різні системи організму;

пізнання природи і суттї радіації;

вивчення радіоактивного гальмування поділу клітин;

встановлення уражаючої дії радіації на субклітинні елементи, клітини, тканини.

Найбільш яскраві представники вчених першого періоду: І. Пулюй, П. Кюрі, М. Склодовська-Кюрі, А. Беккерель, К. Рентген, Н. Бор, Н. Тесла, Е. Лондон, І. Тархановта 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. Дессауєр, 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 ураження радыацією сформатичних та генеративних клітин, розвиток атомної енергетики до Чорнобильської аварії тощо. Найбільш яскраві представники вчених третього періоду Ярмоленко, Дубинін.

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 чередуються і повторюються, - це радіоейфорфї (необґрунтованого захоплення радіації), радіофобії (патологічної боязні всього, що пов'язане з радіацією) та радіо амнезії (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 структурізація 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, фотопризм, 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 поверхності Землі, створюючи біля 30% природної радіації.. Решта 70% обумовлена альфа-, бета- і гама-випромінюванням радіоактивних елементів – торія, 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.

Більшість радіобіологічних ефектів пояснюються теоріями точкового нагріву і попадання (мишені), з точки зору стохастичних і детерміністичних явищ, вільних і ліпідних радикалів, структурно-метаболическої теорії, ефекту “свідка” тощо. Це і є сучасні теоретичні аспекти радіобіології.

Теоретичні аспекти радіобіології включають: точкового нагріву, мішені (попадання), стохастичні (вірогідносні), детерміністичні, ліпідних радикалів та структурно-метаболическа теорія.

1.3. 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 мишені;
- 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 компютерна 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 шурів.

Основні методи дослідження в радіобіології пов'язані з кількісним співставленням дози, часу і площі опромінення.

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), авторадіографії, 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. Серед ізотопних індикаторів розрізняють *стабільні і радіоактивні природні та штучні* ізотопи. Чутливість методу ізотопних індикаторів дуже висока і значно перевищує чутливість інших фізичних і хімічних методів. У біологічних, фізіологічних, агротехнічних дослідженнях рослин і тварин частіше використовують стабільні ізотопи ^2H , ^{13}C , ^{15}N , ^{18}O та радіоактивні – ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{35}S , ^{45}Ca . Методом ізотопних індикаторів вивчають переміщення, трофічні ланцюги і розподіл в організмі, роль у метаболічних процесах тих чи інших речовин й елементів.

Метод ізотопних індикаторів базується на двох основних положеннях:

- а) хімічні властивості різних ізотопів одного елемента практично однакові, тому їх поведінка в процесах, що вивчаються, не відрізняється від поведінки інших атомів того ж елемента;
- б) 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.

Дослідження надходження до рослини радіаційного ізотопу проводять за такою схемою:

- 1) вирощування рослини;
- 2) приготування поживного розчину з міченою сполукою;
- 3) введення міченої сполуки до організму рослини;
- 4) відбір проб рослинного матеріалу і підготовка їх до радіометричного аналізу;
- 5) аналіз результатів вимірювання.

Важливою властивістю і перевагою радіоактивних ізотопів у порівнянні зі стабільними є їх здатність залишати слід на фотоматеріалах. Ця властивість широко використовується для вивчення локалізації в окремих органах, тканинах, клітинах мічених сполук і покладена в основу авторадіографії. **Авторадіографія** – це метод вивчення розподілу радіоактивних речовин у об'єкті, що досліджують. Більш темні плями на фотоматеріалі (плівці, папері, склі) свідчать про вищий рівень іонізації, менш темні – менший рівень іонізації, а світлі – вказують на відсутність іонізації. Це одержало назву **авторадіограми (радіоавтографу)**, тобто, фотографічного зображення розподілу радіоактивних речовин у об'єкті, що досліджується. А слід, полосу, що залишає іонізація на фотоматеріалі називають "**трек**". Розрізняють макроавторадіографію та мікроавторадіографію. Мікроавторадіографія вимагає готувати фіксовані препарати окремих органів.

У біології, медицині і ветеринарній медицині використовуються методи *in vitro* застосування радіоізотопів, коли вони не вводяться в організм. Зокрема, метод *in vitro* застосовують в ендокринології, імунології, мікробіології, фармакології. Так **радіо імунологічний аналіз** дозволяє швидко і надійно визначати в біологічних рідинах і екстрактах з тканин вміст гормонів, ферментів, рецепторних білків, а також лікарські препарати. З його допомогою можна визначати нанограмові, а іноді пікограмові кількості речовини.

Застосування радіоактивних ізотопів у якості індикаторів (**мічених атомів**) дозволяє досліджувати речовини в дуже малих кількостях, які не здійснюють впливу на нормальне протікання процесів життєдіяльності. Радіоактивні ізотопи дозволили вивчати переміщення окремих атомів і молекул, іонів серед собі подібних, без порушення нормальної життєдіяльності організму. Цей метод дозволяє вивчати динамічний стан процесів обміну в живому організмі, взаємоперетворення багатьох речовин, розпад і синтез, оновлення хімічних сполук живих клітин., оновлення складових частин тканин і органів.

Метод мічених атомів відіграв особливе значення у розвитку молекулярної біології.

У радіобіології використовують **сцинтиляційний** (свічення) метод, наприклад, β -спектрометр сцинтиляційний застосовують для визначення ^{90}Sr . Цей метод виключає трудомісткі операції хімічного виділення ^{90}Sr , не потребує використання будь-яких хімічних реактивів та тривалої підготовки перед вимірюванням.

Методи дослідження, що застосовуються в радіобіології дозволяють одержувати вірогідні дані про радіобіологічні ефекти, фізичну, хімічну і біологічну дію радіації на живі системи.

1.4. 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 Нобілівську 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. 2. 1845 – 31. 1. 1918), закінчивши Тернопільську гімназію у 1864 році, поступає на теологічний факультет Віденського університету, одночасно відвідує лекції з математики, фізики та астрономії, потім у 1872 році закінчує філософський факультет і починає працювати асистентом експериментальної фізики цього університету, а з 1873 по 1875 рік – асистентом-викладачем кафедри фізики, механіки та математики Військово-морської академії (м. Фіуме, тепер Рієка в Хорватії). У 1875 році він у Страсбурзькому університеті вивчає електротехніку, там у цей час працювали А. Кундт і ровесники І. Пулюя – К. Рентген, Н. Тесла. У 1877 році І. Пулюй захищає дисертацію доктора філософії і повертається до Відня, де працює на посаді приват-доцента Віденського університету. У 1881 році на Міжнародній електротехнічній виставці демонструє лампу (трудку) 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. У 1882 році він обіймає посаду технічного директора електротехнічного бюро у Відні. У 1884 році обіймає посаду професора експериментальної та технічної фізики у Німецькій вищій технічній школі у Празі, де і працював до виходу на пенсію. Він прибув до Праги з дипломами теологічного (1869) і філософського (1872) факультетів віденського університету та дипломом доктора філософії філософського факультету в Страсбурзі (1879). Основним колом його наукових інтересів завжди була фізика. У Празі І. Пулюй викладає електротехніку і створює електротехнічну лабораторію та кафедру електротехніки у Німецькій вищій технічній школі. Протягом 1888-1889 років він був обраний ректором німецької політехніки, багато років був експертом з електротехніки імператорського і королівського комерційних судів Чехії, президентом Електротехнічної спілки в Празі, членом імператорського і королівського

патентного відомства, членом редакційних колегій декількох журналів. 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 сульфіди кальцію, магнію, стронцію, барію виникали, окрім видимого випромінювання, також промені невидимі, які запатентував у листопаді 1895 року Вильгельм Конрад Рентген. Отже, Рентген невідомі x-промені виявив у листопаді 1895 року, а І. Пулюй їх досліджував і мав практичні розробки за 14 років раніше.

І. Пулюй був відомий як фахівець у галузі електротехніки, ініціатор будівництва електростанції змінного струму і електрифікації Праги, Голешовиців, Маріанських Лазнів, Гавличкових Бродів.

Іван Пулюй похований на Празькому кладовищі Мальвазинки. Його бажання знайти вічний спокій на батьківщині в Українській землі не здійснилось.

До 150-річного ювілею професора І. Пулюя збірник його праць був виданий українською мовою.

Антуан Анрі Беккерель (1852-1908) народився в Парижі у відомій сім'ї французьких фізиків, працював професором фізики Паризького музею історії природи. Його батько Олександр Едмон Беккерель був членом Парижської академії наук, а з 1880 року – її президент, досліджував фотогальванічні ефекти, фосфороресценції, фотограції, фотохімії. Антуан Анрі Беккерель 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 Парижської 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 природню радіацію солей урану. За ці дослідження одержав у 1903 році Нобелівську премію.

Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923) народився в місті Лепен поблизу Дюссельдорфа, працював ректором Вюрцбургського університету (Німеччина), завідувачем кафедри фізики, помер у Мюнхені у Німеччині. Технічну освіту одержав у Цюриху (1865-1868 рр.) у Вищій технічній школі (у цій школі пізніше навчався А. Ейнштейн). У 1868 році захистив дисертацію на ступінь доктора філософії. Працював асистентом на кафедрі фізики спочатку в Цюриху, потім в Гесені, а з 1874 по 1879 роки в лабораторії Кундта в Страсбурзі, в Вюрцбургському університеті з 1888 по 2000 рр (з 1894 року – ректором цього університету), в Мюнхенському університеті з 1900 до 1920 року. Він досліджував фізику, електромагнітизм, пружність та піроелектричні властивості кристалів, діелектричну проникливість рідин, магнітні поля зарядів, що рухаються. Його цікавила оптика (зокрема взаємозв'язок електричних і оптичних явищ у кристалах) і молекулярна фізика. 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. Ряд досліджень В.К. Рентген виконав разом зі своїм учнем А.Ф. Іоффе.

П'єр Кюрі (1859-1906) – народився в Парижі (Франція) в сім'ї лікаря, середню освіту одержав сімейну під керівництвом батька Ежена Кюрі, лауреат Нобелівської премії (1903), французький фізик, творець вчення про радіоактивність. У 1876 році, коли йому було 16 років) одержав ступінь бакалавра, а у 18 років - магістра Сорбони. У 1878 році почав працювати у фізичній лабораторії Сорбони. У 1880 році, разом зі своїм старшим братом Жаком Кюрів відкрили і досліджували п'єзо-електрику, проводив дослідження магнетизму (основний закон Кюрі), симетрію кристалів, виготовив ультра чутливі ваги для наукових досліджень. У 1882 році П. Кюрі був призначений керівником лабораторії нової Муніципальної школи промислової фізики і хімії, де працював протягом 22 років. За період з 1883 по 1895 роки П. Кюрі виконав велику серію робіт з фізики кристалів. З 1890 по 1895 роки П. Кюрі вивчає магнітні властивості речовин при різних температурах. У 1898 році, разом з Марією Склодовською-Кюрі, відкрив полоній і радій; досліджував радіоактивне випромінювання; ввів термін “радіоактивність”. Його батько, дід, прадід були лікарями. Середню освіту одержав сімейну. Працював у Паризькій школі фізики і завідував кафедрою фізики в Сорбоні. Він мав дуже широку ерудицію і високу культуру, відзначався винятковою скромністю і самовимогливістю. 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 на вулиці Парижа 19 квітня 1906 року). Крім Нобелівської премії, П. Кюрі був нагороджений медаллю Деви Лондонської королівської спілки, золотою медаллю Маттеуччі Національної Академії наук Італії.

Марія Склодовська-Кюрі (1867-1934) – народилась у Варшаві в сім'ї вчителя фізики і математики. Марія відмінно закінчила середню школу. 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. У 1891 році Марія поступила на факультет природничих наук Сорбони. У 1893 році вона одержала ступінь магістра.

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.

Актиній, який був теж одержаний з уранової смолки в 1900 році А. Деб'єрном, мав радіоактивність у 100 000 разів вищу, ніж уран.

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 Складовській-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". Вона видала збірник праць П'єра Кюрі, а через рік після її смерті у 1935 році була опублікована її монографія "Радіоактивність".

Вона була почесним членом Співки природознавства, антропології і етнографії у Москві, з 1912 року була членом Інституту експериментальної медицини в Петербурзі, з 1914 року – почесним членом Наукового інституту в Москві, з 1926 року – почесним членом Академії наук СРСР.

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. Похоронена у передмісті Парижа – Со в одній могилі з П'єром Кюрі і його батьком.

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, у 1894 році закінчив Варшавський університет, працював у науково-дослідних закладах Санки-Петербурзі. У 1911 році Ю.С. Лондон опублікував першу в історії науки монографію з радіобіології «Радій в біології і медицині», де узагальним досягнення молодого науки. 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 (Тарханови) 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. У 1896 році І.Ф. Тарханов, аналізуючи результати своїх досліджень на жабах та комах, опублікував роботу в журналі “Вісті С.-Пб біологічної лабораторії”. – Т.1. - № 3. – С.47.) про можливий вплив рентгенівських променів на функції життєдіяльності організму.

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 вірогіднісна 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.

Нільс Бор як людина відзначався глибокою духовністю (він був віруючою людиною), високою моральністю, коректністю і делікатністю.

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. В їхніх дослідках, після бомбардування альфа-частинками (препарату полонію) магнію, бору, алюмінію, вони випромінювали позитрони. Період напіврозпаду алюмінію, за їх дослідженнями становив 3 хвилини 15 секунд, бору – 14, а магнію 2,5 хвилин. Виявлення штучної радіоактивності одержало оцінку найкрупнішого відкриття століття. До цього радіоактивність,

яка була присуща деяким елементам, не могла бути ні викликана, ні знищена, ні як-небудь змінена людиною. Подружжя Жоліо-Кюрі вперше штучно викликали радіоактивність, одержавши нові радіоактивні ізотопи. Вчені передбачали велике теоретичне значення цього відкриття і можливість його практичного застосування в галузі біології і медицини. Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі померли від променевої хвороби.

Друга дочка Марії Кюрі - Єва була знаменитою музиканткою, журналістом, пісменицею. Вона першою написала біографію своїх батьків.

Марія Склодовська-Кюрі померла у 1934 році від лейкемії на 58 році життя в лікарні невеликого містечка Санселлемоз у французьких Альпах. Смерть, вважають, була обумовлена постійною роботою з радіоактивними речовинами. Вона пережила свого чоловіка на 28 років.

Марія і П'єр Кюрі заклали фундамент нової ери в історії людства – ери вивчення і використання атомної енергії.

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 СИ еіективної і еквівалентної доз іонізуючого опромінення.

Ірен Жоліо-Кюрі Народилася в Парижі 12 вересня 1897 року. Вона була старшою із двох дочок П'єра Кюрі і Марії Складовської-Кюрі. Доглядом і вихованням Ірен у ранньому дитинстві займався дід Ежен Кюрі. Батько Ірен трагічно загинув, коли їй було 10 років. Початкову освіту Ірен одержала в кооперативній школі, організованій матір'ю та її колегами фізиками Полем Ланжевенном, Жаном Перреном, які були і викладачами в цій школі. Пртім навчалась в коледжі Севине, який закінчила в 1914 році. Пробовжувала освіту в Сорбоні. У роки війни працювала медичною сестрою у військовому госпіталі. Після завершення війни Ірен працювала асистентом в Інституті радія, який очолювала її мама.. З 1921 року Ірен розпочинає власні дослідження по вивченню радіоактивного полонію. У 1925 році Ірен була присуджена ступінь доктора наук за дослідження атомної структури та штучної радіації.

У 1926 році Ірен вийшла заміж за свого еолеге по Інституту радія – Фредеріка Жоліо. Подружжя проводили спільні дослідження. У 1935 році подружжя одержало Нобелівську премію в галузі хімії за синтез нових радіоактивних елементів.. У 1936 році Ірен стала повним професором Сьорбони, де читала лекції з 1932 року, але продовжувала працювати і в Інституті радія. У 1946 році Ірен була призначена директором Інституту радія. З 1946 до 1950 року вона працювала в Комісаріаті по атомній енергії Франції. Ірен Жоліо-Кюрі померла на 59 році життя в Парижі 17 березня 1956 року від гострої лейкемії.

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. А.Д. Сахарову 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 миру, у цьому ж році він проголосив ноєлівську лекцію «Світ, прогрес, права людини»

У Німеччині **Г. Шмідт** вивчав радіоактивність торію. Вчені **С. Мейєр і Е. Швейдлер** досліджували промені Беккереля. **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.

Ряд вчених у галузі радіології вивчали дію радіації, проводячі досліди на собі – це досить значна група вчених-мучеників.

Перші повідомлення про уражаючу дію радіації, зокрема рентгенівських променів, були опубліковані в 1896 році. У хворих, яким робили рентгенівські знімки, і у лікарів, які працювали з апаратурою, виникали дерматити (почервоніння шкіри, набряки, пухирці і виразки, шкіра втрачала еластичність, вражались нігті, втрачалось волосся, відмічалася біль і втрата чутливості тощо). Характерним було те, що ураження шкіри спостерігалось не зразу після опромінення, а з часом і виздоровлення тривало довгий час.

Протягом 1896-1897 років було опубліковано 49 книг і більше, ніж 1000 статей про використання х-променів у медицині. У 1896 році появилися публікації про враження шкіри (еритеми, дерматити, випадання волосся) у людей, які піддавалися тривалим і частим впливам х-променів при проведенні експериментів.

Перша офіційна інформація про уражаючу дію радіації на шкіру була опублікована у 1901 році П. Кюрі й А. Беккерелем, де вони повідомляли, що необережне поводження з радієм викликало у них опіки шкіри. А у 1902 році описаний перший випадок променевого раку шкіри.

У 1902 році **Г. Фребен** описав перший випадок променевого раку шкіри. Хоча слід відмітити, що перші повідомлення про променевиий рак зустрічаються в XVI столітті, коли відомі медики середньовіччя Т. Парацельс і Г. Агрікола писали про загадкову хворобу легень у людей, які працювали у копальнях, де згодом почали добувати уран і радій. Ще у 1879 році в цій хворобі розпізнали рак легень. Про дію радію на шкіру вперше повідомляють німецькі вчені Г. Вальхов і Г. Гізель. Пер Кюрі одразу ж перевірів це на власній руці, і ділянка шкіри, до якої він приклав радій, виявилася ураженою. 3 червня 1901 року А.

Беккерель протягом 6 годин тримав у кішені ампулу з радієм і теж отримав опік шкіри. Пер Кюрі, К. Бутар, В. Бальтазар прийшли до висновку, що радій можна застосовувати для лікування вовчанки та деяких форм рака. Це стало початком кюрітерапії. Першою в історії спробою рентгенотерапії рака була робота лікаря Д.Ж. Джилмана, який направив до фізика Е. Груббе жінку з вражемою раком молочною залозою. Сеанс її лікування проведений 29 січня 1896 року був ефективним. Е. Груббе продовжував і далі здійснювати рентгенотерапію. Згодом і він став жертвою променевої хвороби.

Довгий час об'єктом спостережень залишалася шкіра, оскільки, вчені не припускали, що радіація може впливати на тканини, які знаходяться в глибині організму. Тільки в 1903 році Г. Альберс-Шонберг виявив дегенеративні зміни сім'яутворюючого епітелію та азооспемію (відсутність спермій у спермі) у морських свинок та кролів після їх опромінення, а у 1905 році Хальберштадтер спостерігав атрофію сім'яників у опромінених тварин. Броун і Осгоуд виявили азооспемію у молодих робітників, які працювали протягом трьох і більше років на заводі по виготовленню рентгенівських трубок

У ці ж 1903-1905 роки Г. Хейнеке вперше описав променеву анемію та лейкопенію, а також звернув увагу на ураження радіацією органів мієлопоезу (кровотворення).

У 1905 році Корніке спостерігав гальмування клітинного ділення під впливом іонізуючого опромінення, а Бергоньє і Трибонто виявили різну чутливість клітин до радіації. У 1906 році ці французькі дослідники (Бергон'є і Трибонто), вивчаючи дію опромінення сім'яників та яєчників щурів, звернули увагу, що генеративні клітини ушкоджуються радіацією, у той час, як інтерстеціальні проявляють високу толерантність. Вони відмічали залежність радіочутливості клітин від інтенсивності й тривалості їх поділу (мітозу), а також ступеня диференціювання і прийшли до висновку, що радіочутливість клітин має пряму залежність від їх мітотичної активності та обернену - від ступеня їх диференціації.

Ці роки вважаються 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 20-ті роки ХХ-го століття були закладені теоретичні основи радіобіології (М.В. Тимофєєв-Ресовський, Ф. Дессауер). Це другий етап розвитку радіобіології, який пов'язаний з вивченням біологічного ефекту від дози опромінення.

20-30 роки ХХ століття відмічені рядом значних відкриттів і нових ідей, що прискорили розвиток радіобіології як науки. У 1920 році Г.А. Надсон, а у

1925 році П. Анцель та П. Винтенберг у Франції прийшли до висновку про те, що радіаційне ушкодження клітини – це є результат двох протилежних процесів: розвиток ушкодження і одночасно відновлення (репарація) після ушкодження.

У 1922 році англійський вчений Ф. Дессауер для пояснення невідповідності між незначною кількістю поглинутої енергії і сильним вираженням реакції-відповіді запропонував гіпотезу “точкової теплоти”. Цей ефект трактувався як результат враження якогось чутливого об’єму клітини в результаті мікролокального процесу передачі енергії. Потім у цій гіпотезі знайшли відображення принципи потрапляння і дискретності поглинання “мішенню” енергії квантів і частинок, яка була розвинута роботами М.В.Тимофєєва-Ресовського, німецьким вченим К. Циммером, англійським вченим Д. Лі.

У 1925 році радянські вчені Г.А. Надсон, Г.С. Філіпов у досліджах на дріжджах відкрили мутагенезну дію рентгенівського випромінювання на нижчих грибах. Дослідження з радіаційного мутагенезу проводили у США на дрозофілах (Н. Меллер) з 1927 року та з 1928 року - на вищих рослинах (Л. Стендлер). Відкриття цих вчених лягли в основу радіаційної генетики. Ці вчені виявили надзвичайно важливий факт впливу іонізуючого опромінення на генетичний апарат клітини, що супроводжуються спадковою передачею набутих ознак.

Роботами Ф. Дессауера (Германія, 1922), Ж. Краутера (Великобританія, 1924, 1927 рр.), Ф. Хольвека (Франція, 1928, 1938 рр.) та іншими були розроблені уявлення і обґрунтування дискретності іонізуючого опромінювання, про процес поглинання енергії як суми одиночних актів взаємодії корпускулярних частинок та фотонів з окремими молекулами та структурами клітини. Теорія “мішені”, як формальне узагальнення багаточисельних спостережень, була підтверджена англійським вченим Д. Лі (1946), радянським вченим М.В. Тимофєєвим-Ресовським (1947) та німецьким вченим К. Циммером (1947).

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 Чорнобильській АЕС в аграрній сфері. Ігор Миколайович Гудков є талановитий педагог і автор широко відомих підручників, посібників, наукових публікацій з радіобіології та радіоекології.

У 50-60 роки ХХ-го століття було накопичено багато даних про роль переокисів, гідропереокисів, семихінів та інших радіотоксинів на формування променевих уражень, а також відкриті перші радіозахисні засоби і ферменти репарації вражених ДНК.

Особливо значущими відкриттями в радіобіології було встановлення ролі ушкоджень унікальних структур ядра клітини в результаті радіаційного ураження, виявлення мутагенної дії випромінювань, вивчення можливостей хімічного захисту й модифікації радіаційного ураження та відкриття процесів пострадіаційного відновлення та репарації.

Пристер Борис Самуїлович (1938), доктор біологічних наук, академік, лауреат ряду Державних премій, народився в м. Кременчук Полтавської області, закінчив Московську сільськогосподарську академію ім. К.А. Тимирязєва, вивчав міграцію радіонуклідів трофічними ланцюгами природних і аграрних екосистем, дію іонізуючих випромінювань на живі організми, розробляв радіозахисні заходи у сільському господарстві на забруднених територіях. Один із співавторів монографії «Основи сільськогосподарської радіології». Він очолював наукову раду з проблеми «Сільськогосподарська радіобіологія» при Південному Відділенні ВАСХНІЛ, приймав участь у розробленні і впровадженні методичних рекомендацій «Ведення сільського господарства в умовах радіоактивного забруднення території України внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС». У 1994-1998 рр Б.С. Пристер очолював Український науково-дослідний інститут сільськогосподарської радіології.

Нині накопичений багатий матеріал дії радіації на живі організми, але відсутня єдина теорія з цього питання. Однією із причин цього є те, що вирішення основних питань радіобіології здійснювалось певною мірою відірвано від тих загально біологічних наук, в галузі яких застосовували

радіацію. Другою причиною стало те, що моментом поглинання радіації і ефектом її дії майже завжди триває значний час, іноді роки.

Об'єктами дослідження радіобіології на сучасному етапі є екологічні системи, популяції, організми, системи органів, органи, клітини, органоїди клітин і клітинні мембрани, макро- і малі молекули. Глибоко вивчається кількісний вплив іонізуючої радіації залежно від дози, площі опромінення, тривалості часу опромінення та радіаційні ефекти, їх етапи (фізичний, хімічний, біологічний) тощо.

Контрольні питання

Дайте визначення радіобіології як науки.

Вкажіть предмет і методи дослідження радіобіології.

Визначіть етапи розвитку радіобіології.

Охарактеризуйте методи дослідження логічно-віртуально-схематичний та моделювання.

Назвіть зарубіжних і вітчизняних вчених, які зробили визначний внесок у розвиток радіобіології.

Вкажіть структуру радіобіології.

Вкажіть галузі застосування досягнень радіобіології.

Охарактеризуйте зв'язок радіобіології з іншими науками.

Радіобіологія це наука про: - фізичні закономірності органічного життя;

- вплив радіації на живі систем;

- хімічні закономірності органічного життя.

10. Вкажіть основні методи дослідження в радіобіології.

2. РАДІОАКТИВНІ РЕЧОВИНИ І РАДІОАКТИВНІСТЬ

2.1. Будова атома та радіоактивні перетворення ядер. 2.2. Характеристика живої клітини. 2.3. Радіоактивні речовини, ізотопи і препарати. 2.4. Радіоактивність. 2.5. Групи радіонуклідів за токсичністю. 2.6. Радіочутливість. 2.6.1. Закон Бергоньє-Трибонто. . 2.7. Дія малих доз іонізуючого випромінювання. Контрольні питання

Джерелом радіації є процеси в атомі та його ядрі, а головним об'єктом її дії є клітина. Тому доцільно звернутися до розгляду питання про будову і функцію атома й клітини як елементарних частинок косної і живої природи, як факторів, що виражають її єдність. Вивчення радіоактивних ізотопів, що

містяться в породах і ґрунтах, свідчить, що вони складають більше половини рівня природнього радіоактивного фону. Рівень випромінювання залежить від типу порід і ґрунтів. Вулканічні породи і сланці містять у 5 разів більше радіоактивних ізотопів, ніж вапняки і піщаники. У зв'язку з цим на Землі є райони, де рівень радіації в 10 разів перевищує середні показники природнього радіаційного фону. До них відносяться деякі острови Нової Зеландії, дельти рік Нілу і Конго, моноцитові райони Бразилії, Індії. Природні радіоактивні ізотопи розпадаються, що приводить до зниження рівня радіації Землі.

Сьогодні в таблицю Менделєєва внесено 109 хімічних елементів, та відкрито ще біля 10. Починаючи з номера 83 елементи є нестійкі через радіоактивний розпад, а з 101 номера розпадаються дуже швидко, тому вони не можуть існувати в природі (одержують їх лише штучно). Всі елементи складаються з атомів.

2.1. Будова атома та радіоактивні перетворення ядра

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

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

Об'єднуючись між собою, атоми утворюють молекули.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Процес передавання енергії електромагнітного випромінювання здійснюється за трьома такими механізмами: фотоелектричного ефекту,

непружного співударяння (ефект Комптона) та народження пар. При наданні електронам зовні додаткової енергії, меншої, ніж енергія зв'язку електрона з ядром, вони будуть переходити з одного енергетичного рівня на інший. Такий атом залишається електрично нейтральним, але уже з надлишком енергії. Атоми, що мають надлишок енергії, називаються **збудженими**, а перехід електронів з одного енергетичного рівня на інший - **процесом збудження**.

Оскільки в природі кожна система намагається перейти до стану, за якого її енергія буде мінімальною, то атом зі збудженого стану переходить у початковий стан спокою. При цьому надлишкова енергія вивільнюється у вигляді порцій енергії – **квантів**. Наприклад, перехід електронів зі зовнішніх оболонок на внутрішні супроводжується рентгенівським випромінюванням з довжиною хвилі, характерною для кожного атома (**характеристичне рентгенівське випромінювання**). Оскільки розміщення оболонок в атомах різних елементів не збігається, спектри рентгенівського випромінювання використовують для ідентифікації тієї чи іншої хімічної речовини.

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

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

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

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

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

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

Всередині ядра між нуклідами діють три види сили: **ядерні, електромагнітні і гравітаційні**. Гравітаційними силами у зв'язку з дуже

малою масою взаємодіючих частинок можна знехтувати. Електромагнітна взаємодія відбувається за допомогою електромагнітного поля шляхом обміну частинками – *фотонами (квантами)*, що не мають маси спокою і можуть пересуватися на будь-які відстані. Ядерні сили діють на коротких відстанях порядку 10^{-13} см, але їх взаємодія виявляється дуже сильною. Ядерна взаємодія відбувається шляхом обміну особливих частинок – η -мезонів. Ці частинки мають масу приблизно в 300 разів більшу за масу електронів.

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

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

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

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

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

Творцями атомної теорії були Демокрит, Платон (запропонував поняття «матерія»), Лукрецій, Галілей (1564-1642), Джон Дальтон (XIX ст.), Н.Бор, Резерфорд. Давня індійська філософія матеріальний світ сприймала як ілюзію,

що реальність – це процес, а не субстанція. Давньоримський вчений Лукрецій (96-55 рр. до н. е.) у своїй роботі «De rerum natura» дотримується атомістичної теорії. У цій роботі Лукрецій пише, що вітер, який дує з великою силою, складається з частинок, яких ми не можемо бачити через малі їх розміри; запах, звуки, тепло поширюються частинками.

2.2. Характеристика живої клітини

Радіаційно-фізичні й радіаційно-хімічні процеси, що відбуваються в будь-яких живих клітинах подібні одні до інших, оскільки речовинний склад клітин різних організмів істотно не відрізняється. Тому під впливом іонізуючої радіації спостерігаються близькі за своєю природою перетворення - перехід молекулів у вільно радикальний стан, розриви макромолекул, хімічна модифікація молекул різних речовин, анаплазія – руйнування структури клітини.

Клітина – елементарна, доцільна структурна та функціональна одиниця живого організму. Клітини є прокаріотичні – які не мають сформованого клітинного ядра і еукаріоти – з чітко сформованим клітинним ядром. Вони розрізняються за формою, розмірами, структурою. Для них властиві різні форми розмноження. Клітина - це елементарна біологічна система, яка лежить в основі будови, розвитку і відтворення тваринних і рослинних організмів. Клітина – складне доцільне утворення, яке може включати до мільярда молекул. В одноклітинному організмі (бактерії, інфузорії) клітина функціонує як єдине ціле в непорушній єдності з середовищем. У багатоклітинних організмах рослин і тварин кожна клітина представляє лише частинку організму, окремих органів, тканин. Багатоклітинний організм, навіть найпростіший, є не лише набір клітин. Клітини його організму чітко спеціалізовані, відрізняються своїми розмірами, формою, структурою і функцією. Угрупування однотипних клітин утворює тканини (тверді, м'які, рідкі), органи, які, в свою чергу, відрізняються будовою і функцією. Органи і тканини в організмі функціонують як одне ціле завдяки наявності інтегруючих систем органів (нервової, ендокринної, крові), а ці останні у свою чергу представлені клітинами.

Значна частина клітин організму здійснює непрямий контакт із зовнішнім середовищем, а через посередництво внутрішнього середовища організму – міжклітинні рідини, лімфу, кров, системи органів газообміну і травлення. Тому в радіобіології складно обґрунтувати механізм дії радіації як на одноклітинний, так і на багатоклітинний організм рослин, тварин, людини.

Термін “клітина” введений до науки у 1663 році англійським біологом Робертом Гуком. Основні компоненти клітини – цитоплазма і ядро. У свою чергу як ядро, так і цитоплазма мають складну будову. У цитоплазмі знаходяться органоїди, що забезпечують загальні для всіх клітин функції (мітохондрії, ендоплазматична сітка з рибосомами, апарат Гольджі, клітинний центр, лізосоми і мікротрубочки), органоїди спеціального призначення, а також включення - відкладення різних речовин у вигляді гранул чи вакуоль, війки.

Ядро клітини виконує основні генетичні і метаболічні функції. Так, ядро предсталене ядерцем, хромосомами, ядерним соком, мембранами.

Всі структурні елементи клітини можна поділити на облігативні (обов'язкові для кожної клітини) і необлігативні (які можуть за певних умов у певних клітин бути, а можуть і не бути).

Клітини розрізняють еукаріотичні, які мають оформлене ядро і прокаріотичні – які не мають структурно оформленого ядра і загальноклітинного асортименту органоїдів (віруси, бактерії, синьозелені водорості і актіноміцети). Існує думка, що віруси є прикладом неклітинної форми життя, остані здатні експлуатувати такі структури інших еукаріотичних клітин.

Форма клітин дуже різноманітна (кругла, овальна, зірчаста, веретеноподібна, нитчаста, квадратна тощо). Розміри клітин коливаються від декількох мікрон (більшості клітин) до декількох сантиметрів, найкрупніші клітини – це яйця птахів і рептилій.

У фізико-хімічному відношенні клітини є складною гетерогенною системою, якій властиве постійне самовідновлення, саморегуляція, самозахист, самоадаптація, самоудосконалення тощо.

Основними складовими сполуками клітини є білки (50-70% від сухої маси клітини), нуклеїнові кислоти, вуглеводи, жири і жироподібні речовини, а також неорганічні іони та вода (до 80-85% загальної маси живої клітини). Клітини включають мікроелементи (до 98%), мікроелементи (O, 01%), зокрема, цинк, мідь, фтор, йод, кобальт, молібден; ультра елементи, наприклад, уран, радій, золото (приблизно 0, 00001%).

В основі життєдіяльності клітини лежить сукупність перетворень речовин і енергії, процесів асиміляції та дисиміляції. Речовини із зовнішнього середовища надходять до клітини через зовнішню цитоплазматичну оболонку (плазмолему) і каналами ендоплазматичної сітки або безпосередньо гіалоплазмою переміщуються до органоїдів і ядра.

Продукти життєдіяльності клітин виводяться з неї через зовнішню цитоплазматичну мембрану. Вони можуть за певних умов також відкладатися у цитоплазмі у вигляді включень.

Розмножуються клітини поділом, в основі якого лежить здатність ДНК до точного самовідновлення (авторепродукції методом матричної реплікації). Клітина бактеріальна ділиться протягом 30 хвилин. Клітини вищих організмів, і у тому числі рослин, діляться протягом 22-24 годин. Існує думка, що нервові клітини нездатні до розмноження.

Особливої уваги заслуговують стовбурні (камбіальні) клітини. Їх відносять до особливої ієрархії клітин живого організму, кожна з яких здатна змінюватися (диференціювати) особливим чином. Вони діляться асиметрично, тому при поділі утворюються одна дочерня клітина, подібна до материнської і друга, яка здатна диференціюватись. Тому стовбурні клітини характеризуються якби безсмертям, оскільки проявляють *тотипотентність* – здатність

утворювати любу іншу із приблизно 350 типів клітин організму ссавців. Процес безсмертя цих клітин реалізується, наприклад, через утворення зиготи, та її ріст і розмноження.

Старіння клітин супроводжується зниженням активності обмінних процесів.

Клітина може існувати як самостійний організм, наприклад, найпростіші, одноклітинні водорості.

Будова клітини: клітинна мембранна – нежива поверхнева частина клітини. Протоплазма – вся жива частина клітини. Цитоплазма складається з прозорої рідини, гіалоплазми, до якої занурена складна сітка тоненьких каналців – ендоплазматична (ретикулярна) сітка (ЕС). Скрізь по ендоплазматичній сітці розкидані дрібні округлі тільця – рибосоми, які складаються з білків, фосфоліпідів і рибонуклеїнової кислоти. Приблизно 60% РНК міститься в рибосомах.

Плазматична мембрана з середини прилягає до клітинної мембрани. Іноді термін клітинної мембрани служить синонімом плазматичної мембрани. Плазматична мембрана – це жива частина клітини, що побудована з білків і ліпідів (ліпопротеїдів). Товщина її становить 150 А (ангстрем). Вона складається з двох шарів, що у деяких місцях проникають у глибину цитоплазми. Плазматична мембрана – це одна з важливих складових клітини, оскільки вона регулює проникнення певних речовин до клітини і виведення назовні продуктів метаболізму.

Не всі явища, пов'язані з перенесенням речовин через плазматичну мембрану, можна пояснити процесами дифузії і осмосу. Розміри частинок, їх розчинність у воді і жирі, елементарний заряд і здатність до фосфорилування – є далеко не повний перелік факторів, що впливають на процеси проникнення речовин до клітини.

Мітохондрії – продовгуваті або округлі тільця, розсіяні у цитоплазмі, довжина їх до 5 мк. Мітохондрії оточені зовнішньою двошаровою мембраною, у багатьох місцях ця мембрана проникає до середини мітохондрії, утворюючи виступи або перегородки (кристи), які поділяють внутрішній простір мітохондрії на відсіки. Мітохондрії – дуже важливі центри внутрішньоклітинної ферментативної активності. Їх іноді називають “силовими станціями” клітини, оскільки, в них здійснюється перетворення речовин, що надходять з кормом, у багаті енергією сполуки, які використовуються клітиною для здійснення всіх процесів, що вимагають витрат енергії.

Центросома – маленьке тільце, яке має вигляд крапки або двох крапок, від яких розходяться промені до оточуючої цитоплазми. Центросоми функціонують під час клітинного поділу.

Апарат Гольджі (АГ) складається з декількох неправильної форми тілець і знаходиться поблизу центросоми. Функція його не повністю з'ясована, але помічено, що апарат Гольджі добре розвинутий у всіх клітинах, які виробляють

секрет. Тому вважають, що його функція полягає у накопиченні і наступному виділенні клітиною секретуючого продукту.

Вакуолі – прозорі, сферичні утворення. Їх неможна вважати живою частиною клітини, оскільки в них міститься надлишок води, солей та інших речовин і немає власної протоплазми.

Ядро – оточене ядерною мембраною, що аналогічна мембрані цитоплазми, але ядерна мембрана відрізняється більш значною пористістю, через неї можуть проникати цілі молекули білка. Ядро заповнене прозорою нуклеоплазмою, до якої занурені довгі тоненькі нитки – хромосоми.

Ядерця мають певне відношення до хромосом, судячи з того, що вони зникають у період поділу клітини. В ядерцях міститься у великій кількості РНК, а ДНК у них, як правило, відсутні.

Клітина – це не вмістилище гомогенного матеріалу, що випадково розподіляється при поділі; це досконалий комплекс, який має складну структуру. Багато з його компонентів є досить автономні (ядро, мітохондрії тощо) у тому розумінні, що їх наявність необхідна для їх власного подвоєння.

До радіації в клітині найбільш чутливі ядро, мітохондрії, мембрани.

Середня клітина має об'єм біля 1000 куб. мк.

Практично всі клітини на 80% складаються з води і на 20% з сухої речовини. До складу сухої речовини входять приблизно 50-60% білків, до 15-25% РНК, вміст ДНК значно варіює від 1% до 4% , а у клітин грибів - до 0,1%. Вміст полісахаридів (крохмал, глікоген, целюлоза тощо) часто становить біля 10%, а ліпідів – декілька відсотків (за винятком деяких спеціалізованих клітин рослин, тварин та мікроорганізмів, в яких накопичується жир). Низькомолекулярні сполуки, такі як цукри, амінокислоти, вітаміни, неорганічні солі, становлять у клітині не більше декількох відсотків.

Життєвий цикл кожної клітини складається з двох періодів: інтерфази і поділу. Тілофаза омоложує клітину. Тривалість життєвого циклу клітин, які належать до різних типів, дуже варіює. Так, інтерфаза нервових клітин триває протягом всього життя організму, а епітеліальних – декілька днів. Тривалість життя майже всіх клітин становить до 60 ділень. Хоча поділ клітин забезпечує як би безсмерття клітин. В основі життєдіяльності клітин лежить сукупність процесів обміну речовин. Клітина є носієм генетичної інформації організму. З віком гени змінюються, цей процес є генетичною експресією. Старіння вносить певний безлад у процеси, що відбуваються в клітині.

Наука, що вивчає будову і функцію клітин називається “цитологія”.

2.3. Радіактивні речовини, елементи, ізотопи і препарати

Радіоактивні речовини – речовини, до складу яких входять радіоактивні ізотопи і здійснюють іонізуюче випромінювання, наприклад, ^{40}K ,

^{235}U . Першими радіоактивні речовини (уранові солі) були відкриті А. Беккерелем у 1896 році. У 1898 році М. Склодовська-Кюрі, Г. Шмідт відкрили торій. У цьому ж році М. Склодовська-Кюрі та П. Кюрі одержали полоній і радій, а у 1899 році був одержаний актиній, у 1905 – радіоторій, у 1907 – мезоторій та іоній.

Радіоактивні речовини характеризуються за якісним або ізотопним складом, кількісним складом – числом протонів та нейтронів; за основними ядерними характеристиками (період піврозпаду, тип та енергія випромінювання).

На підставі того, що спостерігається відносна стабільність поширення на планеті Земля, на поверхні інших планет, у між зірковій речовині, міжгалактичних туманностях, можна вважати, що це є одна із основних фундаментальних властивостей Всесвіту.

За походженням радіоактивні речовини поділяють на природні й штучні. Основні радіоактивні ізотопи, які зустрічаються в гірських породах Землі, це калій-40, рубидій-87, і члени двох радіоактивних сімейств урану-238 та торію-232. Під дією космічної радіації утворюються ізотопи вуглецю-14 і тритію.

Радіоактивні речовини, як правило, випромінюють альфа- (позитивно заряджені атоми гелію) і бета- (електрони) частинки, гама- і гальмівне (електромагнітне високої енергії) випромінювання, нейтрони, можуть бути протони і важкі ядра.

Довгоживучі радіонукліди: америцій, кюрій, нептуній, технецій, йод-129.

Проходячи через речовину альфа- і бета-випромінювання головним чином взаємодіє з електронами атомів, передаючи їм свою енергію, що витрачається на іонізацію (відрив електрона від атома) і збудження (переведення електрона на більш високі орбіти). Число іонізованих і збуджених атомів, що утворюється альфа-частинкою на одиницю довжини шляху в середовищі, у сотні разів більше, ніж у бета-частинки. Фотони взаємодіють з електронами атомів і з електричним полем ядра. Проходячи через речовину, фотонне випромінювання ніколи не поглинається повністю. Цим воно відрізняється від корпускулярного випромінювання.

Передача енергії фотонного випромінювання здійснюється в процесі фотоелектричного поглинання, в наслідок якого фотон зникає, витрачаючи свою енергію на відрив електрона. Таким чином фотонне випромінювання безпосередньо іонізації не здійснює, але в процесі взаємодії з атомом передає частину або всю свою енергію електронам, які потім здійснюють іонізацію.

Принципово інакше здійснюється взаємодія при проходженні нейтронів через речовину. Вони взаємодіють не з електронами, а тільки з ядрами, передаючи їм частину своєї енергії. Ядра, які одержали від нейтронів кінетичну енергію, вилітають з електронної оболонки і, маючи позитивний заряд, здійснюють іонізацію атомів середовища.

Радіоактивний елемент – це хімічний елемент, всі ізотопи якого радіоактивні. Наприклад, уран, який складається з трьох радіоактивних ізотопів

– ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , а також торій, полоній, плутоній, америцій та інші, до складу яких входять винятково радіоактивні ізотопи.

Цезій плавиться при температурі $28,5^\circ\text{C}$, а кипить при 672°C . ^{137}Cs має період напіврозпаду 30 років, а ^{134}Cs – 2,06 року.

Стронцій має температуру плавлення 768°C , а кипіння – 1381°C . Період напіврозпаду Sr становить 29 років.

Стронцій і цезій особливо небезпечні тому, що мають відносно високу енергію випромінювання і досить тривалий період піврозпаду, високу здатність в біологічний коловорот речовин (грунт – рослина – тварина – людина), а також тривалий час утримування в організмі тварин і людини.

Найвищою радіоактивністю володіє штучно добутий метал **каліфорній**. Він уперше добутий у 1954 році в Каліфорнії (США), звідси і його назва. Його радіоактивність у десятки разів вища за плутоній. Виготовляється тільки в США та бувшому СРСР, нині в Росії (Димитрограді). Каліфорній використовують у медицині при лікуванні раку, він вбиває ракові клітини любого віку; у геологорозвідці для пошуків покладів золота, в атомній техніці тощо. Дуже складна технологія його добування. Добувають з плутонію, піддаючи його опроміненню протягом 10 років. Тому він дуже дорогий, 1 мікрограм каліфорнію має вартість 50 000 000 долларів.

Радіонуклід – радіоактивні атоми з даним масовим числом і атомним номером, а для ізомерних атомів – і даним певним енергетичним станом атомного ядра.

Радіоактивний ізотоп – це атоми одного елемента, котрі мають різну масу, тобто різну кількість нейтронів при однаковій кількості протонів, наприклад, радіоактивний ізотоп йоду (I^{131}), радіоактивний ізотоп кобальту (Co^{60}). Терміни «ізотоп», «радіоактивний ізотоп» використовуються тоді, коли говориться про атоми одного і того самого елемента.

Радіоактивні ізотопи – нестійкі ізотопи хімічних елементів, які здатні спонтанно (самовільно) розпадатися і перетворюватися в ізотопи інших елементів. Наприклад, елемент калій складається з трьох ізотопів – ^{39}K , ^{40}K , ^{41}K . Перший і третій ізотопу калію є стійкими, а ^{40}K – радіоактивний. Відомо біля 50 природних і більше 1300 штучних радіоактивних ізотопів, одержаних у лабораторних умовах у результаті ядерних реакцій. Радіоактивні ізотопи одержують на ядерних реакторах, циклотронах або в лабораторіях за допомогою спеціальних генераторів. Характеризуються радіоактивні ізотопи за основними ядерними ознаками: період піврозпаду, тип та енергія випромінювання.

Нукліди – загальна назва атомів, які вирізняються кількістю ядерних частинок.

Радіонуклід – це нестійкий нуклід, такий, що розпадається. Термін “радіонуклід” застосовується для визначення атомів радіоактивних речовин, оскільки радіоактивні ізотопи, як правило, бувають у складі сполук і дуже рідко

у вільному стані, наприклад радіонукліди ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{134}Cs , ^{2137}Cs тощо. За тривалістю періодів піврозпаду їх поділяють на три наступні групи:

- *короткоживучі*, у складі яких немає радіонуклідів з періодами піврозпаду, що перевищують 10 років;
- *середньоживучі*, що містять радіонукліди з періодом піврозпаду від 10 до 100 років включно;
- *довгоживучі*, які мають радіонукліди з періодами піврозпаду понад 100 років.

Радіоактивні гази – це радіонукліди, що знаходяться в газоподібному стані, а радіоактивна хмара – це місце конденсації радіонуклідів у газоподібному стані, з якого вони випадають на землю. Радіоактивні хмари створюються при наземних та повітряних ядерних вибухах. Інертним радіоактивним газом є **радон**. Період піврозпаду радону становить 3,823 доби. Він у 7,5 тяжчий за повітря. Поширений радон у надрах Землі. Джерелом надходження радону до приміщень є ґрунт, вода, будівельні матеріали, побутовий газ. Радон та його дочірні продукти розпаду (у тому числі радій) складають до 50% сумарної дози опромінення. Він широко поширений, має високу проникаючу і міграційну здатність, його важко ідентифікувати, оскільки він не має запаху і кольору.

Серед природніх елементів лише уран і торій мають радіоактивні ізотопи, період напіврозпаду яких можна порівнювати з віком планети Земля. Решта природніх радіоактивних ізотопів існують завдяки розпаду довгоживучих радіоактивних ізотопів і знаходять застосування в науці, промисловості, геології, медицині, сільському господарстві тощо. Наприклад, фосфор-33 має період піврозпаду до 26 діб, кремній має період піврозпаду до 3 років, тритій-3 - до 13 років, натрій-24 до 15 років, вуглець-14 - до 5730 років.

Радіоактивні мінерали – мінерали, які містять радіоактивні елементи у кількості, що значною мірою перевищує їх середній вміст у земній корі. Відомо біля 250 радіоактивних мінералів, які відносяться до різних класів - оксидів і гідроксидів, сілікатів, фосфатів, сульфатів, арсенатів, ванадатів, молібдатів.

Розрізняють радіоактивні мінерали, в яких уран або торій є мінералоутворюючими елементами і радіоактивні мінерали, до складу яких радіоактивні елементи входять як ізоморфні домішки. При розпаді урану утворюється радон, при розпаді торію – торон. Це радіоактивні гази. Найбільше радона на території Фінляндії, а найменше – на території Англії. Понад 30% території України знаходиться на гранітному щиті, з якого виділяється радон. Радон вносить найбільшу дозу опромінення населення серед всіх наземних джерел природньої наземної радіації.

Досить значний вміст, наприклад, урану в фосфатах, які добувають для виробництва добрив. Радіоізотопи добрив проникають в організми рослин і тварин, а від них до організму людини.

Найважливішими мінералами урану є ураніт, особливо його різновидність настуран і конффініт $\text{U}[\text{SiO}_4]_{1-x}(\text{OH})_{4x}$. Відомо багато мінералів, які містять

U^{92} , наприклад, отеніт, карнотіт, беккереліт, кюріт та інші. Мінерали торію менш поширені, ніж урану. Вони, зазвичай, є акцесорними (супроводжуваними) мінералами магматичних гірських порід.

Радіоактивні препарати – радіоізотопи або їх сполуки з різними неорганічними або органічними речовинами, які застосовуються для діагностики і лікування пухлин.

Радіоактивні препарати, які використовують для діагностики, не мають фармацевтичної дії, оскільки, вводяться в мінімальних дозах.

З діагностичною метою застосовують ті радіоактивні препарати, які при введенні в організм включаються до обміну речовин або діяльності органів і систем органів, які вивчаються.

З великої кількості радіонуклідів найбільш небезпечними джерелами опромінення населення є стронцій-90 (період піврозпаду понад 30 років), цезій-137 (період піврозпаду до 30 років), вуглець-14 (період піврозпаду 5730 років), цирконій-95 (період піврозпаду 64 доби). Радіоактивні цезій і стронцій – це штучні ізотопи, які виникають тільки під час ядерних перетворень. У природі їх не існує, а ті кількості, що реєструвались до аварії на ЧАЕС, - результат масових випробувань атомної зброї в атмосфері у 40-60 роки ХХ сторіччя.

Стронцій-90 має період піврозпаду 29 років. При попаданні стронцію всередину організму його концентрація в крові вже через 15 хвилин досягає значної кількості, а в цілому цей процес завершується через 5 годин. Стронцій вибірково накопичується, головним чином, у кістках і опроміненню піддається значною мірою кісткова тканина, кістковий мозок, кровотворна система. Унаслідок цього розвивається анемія. Стронцій за хімічним ефектом подібний до кальцію, тому він накопичується в кістках. Радіоактивний стронцій може знаходитися й у кістках немовлят. Він проникає через плаценту. Особливо інтенсивно він накопичується в кістках плоду на дев'ятому місяці вагітності (за останій місяць може накопичуватися стронцію більше, ніж за попередні 8 місяців). Біологічний період напіввиведення стронцію з організму становить понад 30 років.

Цезій-137 є, після стронцію, найбільш небезпечним радіонуклідом для людини. Він добре накопичується в рослинах, потрапляє до харчових продуктів і швидко всмоктується в шлунково-кишковому тракті. Цезій за хімічними властивостями подібний до калію, тому він накопичується в м'язах. Цезій-137 – радіонуклід з довготривалим фактором впливу, період піврозпаду його триває 30 років. До 80% цезію відкладається в м'язовій тканині. Радіоактивні кальцій, радій, стронцій накопичуються в кістках; ізотопи йоду – в щитовидній залозі й вражають її; рідко земельні – накопичуються в печінці і вражають її; цезій, рубідій порушують мієлопоез, обумовлюють атрофію яєчників, пухлини м'яких тканин. Найбільш небезпечними при інкорпорованій радіації є альфа-випромінювання плутонію та полонію.

Біологічні процеси ефективно впливають на цезій. Тому біологічний період напіввиведення його з організму становить від 50 до 200 діб у дорослих, а у дітей віком від 6 до 16 років – від 47 до 57 діб.

Серед радіоактивних препаратів, що найбільш широко використовуються у формі ізотопів є йод (J^{131}) – для дослідження щитовидної залози; Au^{198} – для дослідження печінки і лімфатичних вузлів; J^{131} - гіпуран і Hg^{197} - промеран – для дослідження нирок; He^{133} і макроагрегат альбуміна J^{131} для дослідження легень; Tc^{99m} - пертехнетат, Ga^{67} - цитрат, Co^{57} або In^{111m} - блеоміцин, Se^{75} -селенометіонін – для діагностики злоякісних пухлин; P^{32} (бета-випромінювання) – для діагностики поверхневих пухлин і лікування метастазів пухлин у кістках і деяких захворювань крові; Sr^{85} та Tc^{99m} – для дослідження кісток.

2.4. Радіоактивність

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

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

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

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

На кожному етапі такого перетворення виділяється енергія.

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

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

несуть електричного заряду, але здатні вибивати електрони з атомів любых хімічних елементів (*фотоелектрична дія*).

Таблиця 2.1.

Одиниці виміру іонізуючого випромінювання

Фізичні величини	У системі СІ	Позасистемні	Співвідношення
Активність, С	Бк(Беккерель)	Ки (кюрі)	1Бер – 1 розпад за 1 сек = $2,7 \cdot 10^{11}$
Поглинута доза, Д	Гр (грей)	Рад (рад)	1 рад = 1Дж/кг; 1 рад = 10^{-2} Гр = 100 ерг/г
Еквівалентна доза, Н	Зв (зіверт)	Бер (бер)	1 бер = 10^{-2} Зв = 10^{-2} Гр = 1рад
Експозиційна доза, X	Кл/кг (кулон на кілограм)	Р (рентген)	1Кл/кг = $3,77 \cdot 10^{-3}$; 1 Р = 0,01 Гр

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

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

Основний закон радіоактивного розпаду виражається формулою:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t), \quad \text{де}$$

N_0 – кількість ядер в об'ємі речовини на початку моменту часу,

N – кількість ядер на момент часу t ,

λ - постійна розпаду, що має зміст вірогідності розпаду ядра за 1 секунду.

Радіоактивний розпад характеризується середнім часом життя радіоактивного ізотопу $\tau = 1/\lambda$ і періодом напіврозпаду, що виражається формулою $T_{1/2} = \tau \ln 2$.

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

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

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

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

Активність іонізуючого випромінювання вимірюють в Беккерелях (Бк).

Джерелами радіації є природні і штучні радіоактивні речовини, космічний простір, ядерні реактори, рентгенівські трубки, різноманітні прискорювачі заряджених часток – бетатрони, циклотрони, лінійні прискорювачі, синхротрони, мікротрони. Природне радіоактивне випромінювання створюють понад 60 радіонуклідів, наявних у біосфері Землі. Природній радіаційний фон на 30% представлений космічною радіацією і на 70% - земними джерелами.

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

- а) капсула й оболонка призначені тільки для збереження, транспортування і поховання РР;
- б) радіоактивна речовина в ядерному реакторі або ядерний тепловиділяючий елемент (*твел*).

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

Закриті ДІВ за характером впливу можна поділити на дві групи: 1) джерела випромінювання безперервної дії; 2) джерела, що генерують випромінювання періодично.

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

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

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

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

- доза зовнішнього опромінення пропорційна інтенсивності та часу впливу випромінювання;
- інтенсивність випромінювання від джерела прямо пропорційна кількості квантів або частинок, що виникають у ньому за одиницю часу і обернено пропорційна квадрату відстані;
- проходячи через речовину, випромінювання поглинаються нею і їх пробіг залежить від густини цієї речовини.

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

Природний радіаційний фон – це фон, що створюється космічним випромінюванням, природними і штучними радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання.

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

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

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

Чим вище над рівнем моря, тим інтенсивнішою є радіація, оскільки повітря значною мірою захищає Землю від космічної радіації. Наприклад, доза опромінення протягом року на рівні моря становить 0,3 мЗв, на висоті 4000 м

над рівнем моря – 1,7 мЗв, а на висоті 12 км вона зростає у 25 разів. Тому опромінення при польотах залежить від висоти і тривалості польоту. Так, при польоті з Москви до Хабаровська екіпаж одержує опромінення 4—50 мЗв.

Космічне випромінювання за своїм походженням поділяють на первинне і вторинне. **Первинне** складається з частинок легких елементів – водню, гелію, літію, берилію, бору та інших. Ці частинки енергії утворюються в надрах Галактики та Сонця. **Вторинне космічне випромінювання** - це енергія, утворена в результаті взаємодії первинних космічних часток з атмосферою Землі. Воно складається з електронів, протонів, мезонів, фотонів тощо.

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

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

Таблиця 2.2

Природні джерела іонізуючої радіації

Найменування джерел	Середня річна доза	
	бер	Зв
Космос	30	0,30
Земля (грунт, вода, будівельні матеріали)	50-130	0,5-1,3
Радіоактивні елементи, які містяться у тканинах організму людини (К, С тощо)	30	0,30
Інші джерела	2	0,02
Середня сумарна річна доза	200	2,0

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

Таблиця 2.3
Штучні джерела іонізуючої радіації

Найменування джерел	Річна доза		Частка від природного фону, % (до 200 мбер)
	мбер	мЗв	
Медичні прилади (рентгенографія зуба 3 бер, рентгенографія легень 2-6 бер, флюорографія 370 мбер, рентгеноскопія)	100-150	1,0-1,5	50-75
Польоти в літаках (відстань 2000 км, висота – 12 км) – 5 разів протягом року	2,5-5,0	0,02-0,05	1,0-2,5
Телевізор (4 години протягом доби)	1,0	0,01	0,05
Комп'ютер	0,1	0,001	0,05
Теплові електростанції (на вугіллі), відстань 20 км	0,6-6,0	0,006-0,06	0,3-3,0
Випробування ядерної зброї	2,5	0,02	1,0

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

2.5. Групи радіонуклідів за токсичністю

Існує три основні типи розподілу радіонуклідів в організмі: скелетний, ретикуло-ендотеліальний і дифузний. Скелетний розподіл обумовлюється лужно-земельною групою елементів (Ca, Sr, Ba, Ra); ретикуло-ендотеліальний – нуклідами рідкоземельних елементів (Ge, Pr, Pm, Zn, Th, Am) та трансурановими елементами; дифузний – лужними металами (K, Na, Cs, Rb). Тип розподілу радіонуклідів в органах і тканинах не залежить від шляхів їх надходження в організм. У всіх видів ссавців тип розподілу майже однаковий.

Схема типу розподілу радіонуклідів в організмі:

- **рівномірний** – елементи першої основної групи періодичної системи (водень, літій, натрій, калій, рубідій, сезій, рутеній, хлор, бром тощо);

- **скелетний (остеотропний)** – лужноземельні елементи (берилій, цирконій, ітрій, фтор тощо);

- **печіночник** – вісмут, сурма, миш'як, уран, селен тощо;

- **тиреотропний** – йод, астатин.

За здатністю накопичувати радіонукліди основні органи тварин і людини розподіляються наступним чином: щитовидна залоза, печінка, шлунково-кишковий тракт, нирки, скелет, м'язи.

Радіоактивні ізотопи при попаданні до організму включаються в процеси обміну речовин так, як і стабільні ізотопи даного елемента. Затримуючись в тканинах, ядра їх атомів піддаються розпаду, обумовлюючи іонізацію. Цим і визначається їх уражаюча дія. Ступінь біологічної дії радіонуклідів при попаданні в організм визначається такими факторами: 1) видом і енергією випромінювання, періодом піврозпаду; 2) фізико-хімічними властивостями речовини, до складу якої радіонуклід потрапляє в організмі; 3) типом розподілу в тканинах і органах; 4) швидкістю виділення із організму.

Радіонукліди за звичай нестабільні. Наприклад, атом урану-238 може випускати два протони і два нейтрони і перетворюватися в торій-234. Але і торій також є нестабільний. Цей ланцюг перетворень закінчується утворенням стабільного нукліду свинцю. Ці перетворення (розпад) супроводжуються вивільненням енергії. Різні радіонукліди здатні виділяти різного типу і дози випромінювання, забруднюючи довкілля. Радіонукліди з коротким періодом піврозпаду (що вимірюється хвилинами, годинами), представляють меншу небезпеку, ніж радіонукліди з періодом піврозпаду від декількох днів до декількох десятків років.

Радіоактивні речовини, що містяться в продуктах харчування, воді, повітрі можуть проникати в середину організму через травний тракт, органи дихання і через шкіру. За таких умов вони стають інкорпорованими радіоактивними речовинами. Інкорпоровані радіоактивні речовини всмоктуються у кров і разносяться по всьому організму. Інтенсивність всмоктування залежить від їх фізичних і хімічних властивостей та від фізіологічного стану організму. Їх міграційна і депонуюча властивості високі.

Характер розподілу інкорпорованих радіоактивних речовин в організмі теж різний. Так, порівняно рівномірно розподіляється в організмі трітій, цезій-137, інші вибірково накопичуються або в кістковій тканині (остеотропні речовини – барій-144, стронцій-89 та 90, радій-226), паренхиматозних органах, наприклад, печінці, щитовидній залозі (паренхимотропні – йод-125 та 131). За таким принципом можна виділити епітеліотропні, гематотропні, міотропні речовини.

Інкорпоровані радіоактивні речовини випромінюють α -, β -частинки та γ -промені і здійснюють внутрішнє опромінення, що має в багато разів вищу дію ураження, оскільки, еволюційно організм не пристосований захищатися від

внутрішньої радіації. Внутрішнє опромінення відбувається, головним чином, при вживанні продуктів харчування та води, що забруднені радіонуклідами. Систематичне і тривале споживання продуктів харчування та води, що забруднені радіонуклідами, призводить до накопичення їх в організмі тварини і людини (йоду – у щитовидній залозі, стронцію – у кістках, цезію – у м'яких тканинах).

Виводяться з організму інкорпоровані радіоактивні речовини через травний тракт, нирки, незначна частина - через потові та слюнні залози

Радіотоксичність - властивість радіоактивних ізотопів викликати патологічні зміни при надходженні їх в організм. Радіотоксичність ізотопів залежить від ряду їх характеристик і факторів, головними з яких є такі: 1) вид радіоактивного перетворення; 2) середня енергія одного акту розпаду; 3) схема радіоактивного розпаду; 4) шляхи надходження радіоактивних речовин в організм; 5) розподіл радіонуклідів в органах і системах; 6) час перебування радіонукліда в організмі; 7) тривалість часу надходження радіонуклідів до організму.

Всі радіонукліди, як потенційні джерела внутрішнього опромінення і метали-токсиканти, поділяють на 4 групи:

А група – радіонукліди особливо високої радіотоксичності, мінімально значуща активність яких на робочому місці становить 1 кБк. До цієї групи відносять 40 ізотопів, у тому числі наступні: каліфорній, свинець-210, полоній-210, радій-226, америцій-241, плутоній-239, плутоній-240 та інші трансуранові елементи (ТУЕ).

Б група – радіонукліди високої радіотоксичності, мінімально значуща активність яких на робочому місці становить не більше 10 кБк. До цієї групи відносять 38 ізотопи, у тому числі наступні: стронцій-90, радій-223, йод-131, торій-227, рутеній-106 та інші.

В група – радіонукліди середньої радіотоксичності, мінімально значуща активність яких на робочому місці становить не більше 100 кБк. До цієї групи відносять 162 ізотопи, у тому числі наступні: натрій-24, фосфор-32, сірка-35, калій-42, марганець-56, кобальт-60, стронцій-89, цезій-134, барій-140, селен-144 та інші.

Г група – радіонукліди низької радіотоксичності, мінімально значуща активність яких на робочому місці становить не більше 1000 кБк. До цієї групи відносять 75 ізотопів, у тому числі наступні: водень-3, вуглець-14, фосфор-33, мідь-64, кісень-15 та інші, а також усі короткоживучі радіоізотопи, період напіврозпаду яких менше 24 годин.

Проникаюча радіація поширюється у середовищі, іонізує його, а при проходженні через живу тканину іонізує атоми і молекули, що входять до складу клітин. Це обумовлює порушення нормального обміну речовин, зміну характеру життєдіяльності клітин, тканин, окремих органів і систем організму. Внаслідок накого впливу розвиваються променеві ушкодження і хвороби. Тому з радіоактивними речовинами, які застосовуються у відкритому вигляді,

працюють тільки в спеціально обладнаних приміщеннях або радіологічних лабораторіях, до яких стапляться спеціальні санітарно-гігієнічні вимоги.

2.6. Радіочутливість

Всі живі організми мають класову, видову і індивідуальну радіочутливість. Їх радіочутливість оцінюється напівлегальною, критичною і летальною дозами. Складність та різноманітність процесів, що мають місце між початковим поглинанням радіаційної енергії та кінцевим проявом біологічного ушкодження, обумовлюють можливість багаточисельних фізичних, хімічних біологічних модифікацій

Розрізняють рівні радіочутливості мікро- (молекули, ДНК, органоїди клітин, клітини) та макрорадіочутливість (тканини, органи, організм).

Комплексом факторів (захисних і еволюційних) обумовлено, що дози іонізуючого опромінення, які відповідають природному фонові, не шкідливі для життєдіяльності переважної більшості організмів. Проте, навіть природний рівень випромінювання, в окремих випадках, може спричинити шкідливі мутації. З підвищенням дози іонізуючої радіації імовірність виникнення таких мутацій зростає.

В основі біологічної дії радіації лежать процеси іонізації і збудження молекул, радіаційно-хімічні реакції, що порушують або змінюють функції біополі мерів, головним чином нуклеїнових кислот і ферментів.

Радіочутливість і радіостійкість – це чутливість біологічних об'єктів до дії іонізуючого випромінювання. Мірою радіочутливості є доза опромінення, що викликає загибель 50% опромінених клітин або організмів (напівлетальна). Критичною дозою є така, коли гине 75%, а летальною – коли гинуть всі 100% опромінених клітин або організмів Вони у різних біологічних об'єктів можуть розрізнятися в сотні й, навіть, тисячі разів. Так, для клітин організму ссавців 200...250 рад, а для ссавців-тварин – від 350 до 1200 рад (так, 50% гине опромінення протягом 30 діб дозою морські свинки 250 рентген, собаки 335 Р, мавпи 600 Р, миші 550...650 Р,); карасі 1800 Р; гадюки 8000...20000 Р; для комах – 30...50 тис. рад; для інфузорій – 300...500 тис. рад. Рад – це доза кількості поглинутої енергії в 0,01 Дж/кг Більш стійкі одноклітинні організми: дріжджі гинуть при дозі 30000 Р; амеби – 100000 Р, а інфузорії витримують опромінення до 300000 Р. Рослини значно менш чутливі до радіації, ніж тварини. Радіочутливість, особливо вищих рослин, теж різна. Так насіння лiлiї повністю втрачає схожість при дозі опромінення 2000 Р, а на насіння капусти помітно не впливає доза в 64000 Р.

При поглинанні білковими розчинами високих доз (100 Гр і більше) змінюється конфігурація білкових молекул, спостерігається їх агрегація і деструкція. При опроміненні дозами до 50 Гр знижується концентрація вільних

амінокислот, зокрема, метіоніну та триптофану, що сповільнює біосинтез білків.

Ферментні системи реагують на опромінення по різному: їхня активність може зростати, знижуватись або залишатись незмінною, проте при великих дозах вони ін активуються.

Опромінення розчину простих цукрів високими дозами спричинює їх окислення і розпад полісахаридів на прості цукри, зменшується в'язкість. Уже при поглинанні організмом доз 5-10 Гр порушуються процеси розщеплення глюкози, знижується вміст глікогену в тканинах.

Іонізуюче опромінення обумовлює підвищення окислюваності ліпідів, що зумовлює утворення перекисів і перерозподіл вмісту ліпідів у різних тканинах.

Всі живі організми характеризуються власною радіочутливістю і реакцією на радіацію. Наприклад, деякі найпростіші організми, віруси, бактерії здатні витримувати величезні дози радіації (до 1000 ... 10000 Гр, що дорівнює 10000 ... 1000000 Р) і при цьому зберігати свою життєдіяльність. Низьку чутливість комах і ракоподібних намагаються пояснити підвищеним вмістом у них сполук, які мають радіопротекторні властивості у комах це каталаза, що розщеплює перекиси, а у ракоподібних – амінокислоти, аміни і полі пептиди, що беруть участь у регуляції осмотичного тиску.

У ссавців стійкість до радіації значно менша. Аналіз нещасних випадків показує, що абсолютно смертельна доза радіації для людини дорівнює 600 ... 700 Р, а безпосередні ефекти опромінення не розвиваються при дозах менших до 100 Р короткочасного опромінення.

Радіочутливість клітин зростає прямолінійно зі збільшенням ДНК, розмірів і кількості хромосом та інших структур у клітині, швидкості їх ділення, інтенсивності росту, швидкості та інтенсивності процесів обміну речовин.

Більшість видів рослин відрізняються від ссавців високою стійкістю до іонізуючого випромінювання і, як правило, тому існуючі рівні опромінення для них не є небезпечними. Хоча є багато даних (І.М. Гудков, 2005), які свідчать про те, що в зонах з високим рівнем радіонуклідного забруднення і у деяких видів рослин виникають певні ураження.

Складність та різноманіття процесів, що мають місце між початком поглинання радіації та кінцевими проявами біологічного ураження, обумовлюють наявність багаточисельних модифікацій: фізичні, хімічні, біологічні та комплексні фактори можуть модифікувати значну кількість радіаційних уражень.

Ефект дії радіації залежить також від того, які саме тканини і органи зазнали опромінення.

На радіочутливість впливає хімічний склад клітини, фізіологічний стан (фаза клітинного циклу, фаза диференціації), умови під час опромінення. Нервові клітини не діляться, тому вони стійкі до радіації. У ссавців печінка, м'язи, кістки, хрящі та сполучна тканина мають досить низьку проліферативну

активність і складаються із зрілих спеціалізованих клітин, тому вони характеризуються низькою радіочутливістю.

Найчутливішими до радіації у клітинах ссавців є мітохондрії та ядро.

Найбільш чутливі до радіації дуже молоді і дуже старі клітини. Високою радіочутливістю характеризується меристема рослин та стовбурні клітини тварин.

В одному і тому ж організмі клітини, які найменшою мірою контактують зі зовнішнім середовищем, є найбільш чутливі до радіації, хоча складний організм відповідає (реагує) на радіацію системно - як одне ціле.

У гібридних клітин і організмів діапазон від напівлетальних до летальних доз значно ширший, ніж у чистих, чистокровних.

У радіобіології виділяють **критичні органи** – це органи, тканини, частини тіла, опромінення яких у відповідних умовах спричиняє найбільшу шкоду організмові, здоров'ю.

За радіочутливістю критичні органи поділяють на три наступні групи:

1 група – усе тіло, гонади, червоний кістковий мозок;

2 група – щитовидна залоза (у щитовидній залозі найбільше накопичується радіонуклідів), легені, печінка (печінка займає друге місце після щитовидної залози щодо накопичення радіонуклідів), селезінка, нирки, молочна залоза, м'язи, жирова тканина, шлунково-кишковий тракт, кришталик ока та інші;

3 група – кісткова тканина, шкіряний покрив, передпліччя, долоні, ступні. М'язи і головний мозок відносяться до радіорезистентних тканин.

Стронцій інтенсивно накопичується в кістках організму, цезій – в печінці, м'язах, серці, нирках, легенях, селезінці; радіоактивний йод – в щитовидній залозі. Їх накопичення в організмі зумовлює стан субкомпенсованого метаболічного ацидозу, порушення кислотно-лужного стану в організмі людини і тварин.

Багатоклітинні організми мають вищу радіочутливість, ніж одноклітинні.

Дози опромінення, що відповідають природному фонові, не шкідливі для життєдіяльності більшості організмів. Проте, навіть природний рівень опромінювання в окремих випадках може спричинити шкідливі мутації.

Складність та різноманітність процесів, що мають місце між радіаційним опроміненням та кінцевим проявом біологічного ураження, обумовлюють можливість наявності багатьох модифікацій. Тобто, різні фізичні, хімічні та біологічні фактори можуть модифікувати різне число і різні форми радіаційних уражень. Наприклад, зміна дози, часу, виду опромінення обумовлюють зміну і радіаційного ефекту (рівня ураження).

Причини різної чутливості організмів до іонізуючого опромінення вивчаються. Наприклад, низьку чутливість комах і ракоподібних пояснюють підвищеним вмістом в них сполук, які мають радіопротекторні властивості: у комах, хітин, каталаза, що розщеплює перекис; у ракоподібних – амінокислоти, аміни і полі пептиди, що беруть участь у регуляції осмотичного тиску.

Фактори, що модифікують ефекти опромінення. Серед цих факторів є фізичні, хімічні та біологічні, а часто вони діють у комплексі.

Серед фізичних факторів слід вказати на ефект “мішені”, точкового нагріву, іонізація.

Хімічні фактори, що впливають на радіаційний ефект, можна поділити на дві такі групи:

1. Сенсibiliзатори. Сенсibiliзація (лат. sensibilis – чутливість) – це підвищення чутливості організму, окремих органів, тканин, клітин до дії того чи іншого фактору. Сенсibiliзація лежить в основі алергічних захворювань. Наприклад, сенсibiliзатором радіочутливості є кисень. Так, у присутності кисню майже всі біологічні системи є більш чутливими до рентгенівського та гама-опромінення, ніж при опроміненні в умовах низького вмісту кисню (гіпоксії) або при його повній відсутності (аноксії). Ця властивість кисню підвищувати ефективність опромінення одержала назву **кисневого ефекту**. Кисень модифікує радіаційне ушкодження, він не змінює їх якісно, а лише зменшує дозу, яка стає достатньою для індукції певного біологічного ефекту. Сенсibiliзаторами є такі сполуки як хінони, ацетофенони, нітрофурани, гліюксани та нітроімідазоли. Підвищують радіочутливість катіони срібла і ртуті. Сенсibiliзатори застосовують при радіотерапії, вводячи їх до злужкисних пухлин, при цьому радіочутливість їх підвищується в 2 і більше разів. Велике значення для радіаційно-хімічних реакцій має газове оточення.

Дослідження радіосенсibiliзації є актуальною проблемою. При цьому слід визначати фізико-хімічні, біохімічні, фізіологічні зміни та особливості радіогенних структурних а також функціональних змін в біологічних системах. Реакція надчутливості (**РНЧ**) має важливе значення в радіотерапії. Її використовують при захисті рослин від фітопатогенних мікроорганізмів. Хоча нині дослідженні лише окремі етапи процесу розвитку РНЧ, які здебільшого торкаються її молекулярного рівня. Представляє інтерес часовий і дозозалежний характер ефектів, які спричинені опроміненням рослин і тварин на різних етапах розвитку реакції надчутливості.

2. Протектори - це група речовин, які знижують ефект опромінення, якщо вони вводяться в організм до опромінення (перед опроміненням). До ефективних радіопротекторів відносять речовини, які містять сульфгідрильні групи (-SH). До них відносяться, наприклад, цистеїн, цистамін, глутатіон, меркаптоетігунідин, S-(2-амін-етіл)-ізотіуроній-бромід та інші речовини. Додавання протекторів (хімічних захистних агентів) в 1,5-2 рази знижує радіаційний ефект. Але, щоб реалізувати свою захистну дію, протектори мають бути присутніми під час опромінення і знаходитись безпосередньо в місцях критичного радіаційного ушкодження. Пострадіаційне застосування протекторів є не ефективним. Величину дії радіопротектора виражають **фактором зменшення дози** (ФЗД) – відношення дози опромінення без застосування радіопротектора до дози, коли застосовується радіопротектор.

Захистна дія радіопротекторів є видоспецифічною. Деякі радіопротектори можуть захищати мікроорганізми і не захищати ссавців.

Паралельно з фізичними (температура, світло, магнітні поля, тиск, вологість) і хімічними факторами на радіочутливість живих систем впливають біологічні фактори. Це перш за все поліферативна активність, фази поділу клітин, різні репараційні процеси, інтенсивність обміну речовин, вік, фізіологічний та клінічний стан організму тощо.

Серед біологічних факторів слід виділити зміна білків, цукрів, ліпідів, проліферативна активність, зміна функції ферментів, гормонів, вітамінів.

Радіоміметика – індукування процесів, подібних до променевого ураження (наприклад симптоми променевої хвороби при відсутності опромінення організму). Явище радіоміметики можна пояснити тільки біологічними факторами.

Причини різної чутливості організмів тварин до іонізуючого опромінення досконало ще не вивчено. Низьку чутливість, наприклад, комах і ракоподібних намагаються пояснити підвищенням вмісту у них сполук, які мають радіопротекторні властивості. У комах це каталаза, що розщеплює перекиси, а у ракоподібних – амінокислоти, аміни і поліпептиди, що беруть участь у регуляції осмотичного тиску. Чутливість ссавців до опромінення залежить від індивідуальних особливостей і умов їхньої життєдіяльності. Найчутливішими до дії радіації є ембріони і немовлята, клітини яких мають високу активність росту. Підвищеною є радіочутливість у старих особин, оскільки у них погіршуються процеси відновлення.

Факторами природної радіостійкості може бути наступне:

- ефективність процесів репарації;
- хімічний склад клітин і організму;
- наявність сіркувмістних сполук у складі клітин і тканин;
- вміст коензіму-А у мітохондріях;
- співвідношення об'ємів цитоплазми і ядра;
- кількість мітохондрій в клітині;
- вміст в клітині плазмідів.

Складність і різноманітність процесів, що мають місце між початком поглинання іонізуючої радіації та кінцевим проявом біологічного ураження, обумовлюють можливості багато чисельних модифікацій. Різні фізичні, хімічні, біологічні та різні їх поєднання модифікують рівень і форми радіаційного ураження.

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

У результаті дії іонізуючого випромінювання на організ 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, призведе 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 залозт 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 природню 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 мелекул білків). Це *непряма* дія радіації. А *пряма* дія радіації можи 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 Бергонье-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.

2.7. 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 (сенсителізатори, 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, організменому, 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.

2.8. 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 мкціоніну та 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. При поглинанні доз 5-1- Гр порушуються процеси розщеплення глюкози, знижується вміст глікогену в тканинах, змінюються властивості ряду вуглеводів.

Дія іонізуючого опромінення

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.

За визначенням Наукового комітету ООН з дії атомної радіації (UNSCEAR) малі дози опромінення становлять 0,2 Гр для іонізуючого випромінювання із низьким значенням ЛПЕ й 0,05 Гр – із високим за потужності поглинутої дози.

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 інактивзації певної кількості клітин, і тоді потрібні відповідні корегування у визначенні малих доз опромінення.

Одже, 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 притамані 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.

Виявлено, що спостерігається діапазон малих доз опромінення, у межах якого здійснюється стимуляція росту й розвитку тваринних і рослинних організмів. Такі явища називають *радіостимуляцією або гормезисом*. Гормезис спостерігають у рослин, тварин, одноклітинних організмів, у культурі клітин. Найповніше це явище досліджено у рослин. Так, опромінення насіння у малих дозах сприяє збільшенню схожості, інтенсивнішому росту паростків, що

свідчить про підвищений рівень метаболічних і фізіологічних процесів. Існує думка, що радіаційний гормезис є явищем тотожним за умови застосування деяких токсичних речовин у дуже малих дозах.

Значення стимулювальних доз для багатьох видів культурних рослин виявляються не дуже малими, наприклад, для гороху – 3...10 Гр, кукурудзи – 5... 10 Гр, льону – 10 Гр, озимої пшениці – 25 Гр.

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. Вважають, що розвиток гормезису розпочинається з появи вільнорадикальних станів молекул у клітині, а вільні радикали можуть досить швидко дезактивуватися внаслідок рекомбінаційних процесів. О.М. Кузіна висунула гіпотезу природи гормезису, за якою він зумовлюється активацією певних генів під впливом так званих тригер-ефекторів, що регулюють репресію окремих ділянок геному. 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, підгрудничній 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.

2.8.1. 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 вибірковий 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} аберативних 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.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте будову атома.

2. Охарактеризуйте будову клітини.
3. Поясніть процес збудження атома та їх іонізацію
4. Вкажіть сили, що забезпечують стійкість атома
5. Охарактеризуйте радіоактивні ізотопи.
6. Дайте визначення природної та штучної радіації.
7. Напішіть формулу закону радіації.
8. Охарактеризуйте період напіврозпаду.
9. Що таке пряма і непряма радіація ?
10. Охарактеризуйте інкорпоровані радіонукліди та вкажіть її шляхи потрапляння в організм.
11. Вкажіть шляхи виведення з організму інкорпорованих радіонуклідів.
12. Вкажіть групи радіонуклідів за їх радіотоксичністю при внутрішньому опроміненні.
13. Дайте визначення радіочутливості.
14. Вкажіть рівні радіочутливості та групи критичних органів.
15. Вкажіть основні джерела радіації. Що таке відкриті і закриті джерела радіації.
16. Охарактеризуйте радіочутливість живих систем на мікро- та макрорівнях.
17. Вкажіть фізичні, хімічні, біологічні фактори, що впливають на радіаційний ефект.
18. Охарактеризуйте стохастичні, детерміністичні радіобіологічні ефекти та гормезис.
19. Радіоактивні речовини це: - сукупність органічних речовин;
- речовини, що здійснюють іонізуюче випромінювання;
- речовини, що характеризуються властивостями металів.

3. НОРМИ І ТЕХНІКА РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ

3.1. Принципи радіаційної безпеки. 3.2. Дозові межі і допустимі рівні опромінення людей різних категорій. 3.3. Захист від іонізуючого випромінювання. 3.4. Дезактивація робочих приміщень і обладнання. 3.5. Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами. 3.6. Вимоги до облаштування і організації роботи в радіологічних лабораторіях

3.1. Принципи радіаційної безпеки

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

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

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

Правила безпеки при роботі з радіоактивними речовинами регламентуються Міжнародною Комісією по радіаційному захисту, рекомендації якої коректує та затверджує Міжнародний радіологічний конгрес. На основі прийнятих конгресом пропозицій у країнах світу розробляються відповідні правила та затверджуються закони, що визначають норми безпеки роботи з радіоактивними речовинами. Всі вони містять у собі організаційні, технічні, гігієнічні, профілактичні і лікувальні заходи.

У грудні 1955 року Генеральна Асамблея ООН заснувала науковий комітет по вивченню наслідків дії радіації на організм людини. Цей комітет об'єднує вчених понад 20 країн світу. Він є найбільш авторитетною установою такого роду. Але він не встановлює норми радіаційної безпеки, а служить лише джерелом відомостей про радіацію, на основі яких, наприклад, такі органи як Міжнародний комітет радіаційного захисту (МКРЗ), Міжнародне 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 Чонобильської катастрофи – доповнені, удосконалені і опубліковані у 1987 році. Нині в Україні робота з радіоактивними речовинами та джерелами іонізуючого випромінювання регламентується двома основними нормативно-правовими документами, що мають силу закону: “Норми радіаційної безпеки України” (НРБУ-97) та “Основними санітарними правилами протирадіаційного захисту України” (ОСПУ- 2001). Вони поширюються на заклади і підприємства всіх міністерств і відомств, професійних спілок та інших суспільних, кооперативних і приватних організацій. НРБ є основним документом. Що регламентує рівні дії іонізуючого випромінювання.

Основні принципи радіаційної безпеки такі:

- виправданості (користь від вибраної людиною діяльності перевершувала сумарні збитки для суспільства чи людини);
- 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 злоякісних пухлин та генетичних уражень і ступення ризику летальних наслідків від них, віднесених до колективної еквівалентної дози, що дорівнює 10^4 люд.-Зв (1 млн люд.-бер). За умови додаткової дії ІВ, як одного з багатьох факторів мутагенезу, дозою 1 сЗв (1 бер) ризик виникнення злоякісних пухлин зростає на 5%, а прояв генетичних дефектів – на 0,4%.

3.2. Дозові межі і допустимі рівні опромінення людей різних категорій

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

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

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

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

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

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист стосовно практичної діяльності будуються з використанням таких основних принципів:

1. Будь-яка практична діяльність, що супроводжується опроміненням людей, не повинна здійснюватись, якщо вона не приносить більшої користі опроміненним особам або суспільству в цілому порівняно зі шкодою, яку вона завдає (принцип виправданості).
2. Рівні опромінення від усіх видів практичної діяльності не повинні перевищувати встановлені ліміти доз (принцип неперевищення).
3. Рівні індивідуальних доз або кількість опромінених осіб по відношенню до кожного джерела опромінення мають бути настільки низькими, наскільки це може бути досягнуто з урахуванням економічних та соціальних факторів (принцип оптимізації).

Радіаційна безпека та протирадіаційний захист у ситуаціях втручань будуються також на згаданих вище принципах:

- будь-який контрзахід мусить бути виправданим, тобто отримана користь для суспільства та особи від відвернутої цим контрзаходом дози має бути більша, ніж сумарний збиток (медичний, економічний, соціально-психологічний тощо) від втручання, пов'язаного з його проведенням (принцип виправданості);
- мають бути застосовані всі можливі заходи для обмеження індустріальних доз опромінення на рівні, нижчому, ніж поріг детерміністичних радіаційних ефектів, особливо порогів гострих клінічних радіаційних проявів (принцип неперевищення);
- форма втручань (контрзахід або комбінація контрзаходів), його масштаби та тривалість мають вибиратися таким чином, щоб різниця між сумарною користю та сумарним збитком була не тільки позитивною, але й максимальною (принцип оптимізації).

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

В основі нормування радіаційного впливу на організм людини використовуються відомості про біологічну дію іонізуючого випромінювання. Нестохастичні (детерміністичні) радіобіологічні ефекти мають дозову залежність і проявляються в опроміненому організмі через відносно короткий термін. При цьому із збільшенням дози опромінення зростає ступінь ураження органів і тканин – спостерігається ефект градування. Тобто від величини й потужності дози розвивається певний ефект, наприклад, гормезис, морфологічні зміни, різні рівні променевої хвороби, летальний наслідок. Стохастичні (випадкові) ефекти можуть проявлятися як в соматичних, так і в генеративних клітинах. Їх ефект в соматичних клітинах може обумовити появу злоякісних пухлин в організмі, а в генеративних – мутації у нащадків та інші генетичні ефекти. А оскільки порогу мутаційної дії радіації не існує, то немає безпечної її малої дози. Цим, певною мірою, можна пояснювати, що в промислово розвинутих країнах 17-25% населення мають онкологічні

захворювання, а 6-10% новонароджених мають дефекти розвитку в наслідок генетичних порушень.

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

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

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

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

- рекомендовані рівні.

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

- рівні втручань;
- рівні дії.

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

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

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

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

- рівні втручань;
- рівні дії.

Радіаційно-гігієнічні регламенти четвертої групи спрямовані на зменшення доз хронічного опромінення населення від техногенно-посилених джерел природного походження, які в результаті господарської та виробничої діяльності людини були піддані концентруванню або збільшилась їх доступність, внаслідок чого утворилося додаткове до природного радіаційного фону опромінення.

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

Будівельні матеріали і мінеральна сировина з питомою активністю ^{226}Ra (радій), ^{232}Th (торій) і ^{40}K (калій) у межах 370 Бк/кг використовують без обмежень для всіх видів будівництва (1 клас); активність 370-740 Бк/кг - для промислового будівництва та будівництва шляхів (2 клас); активністю 740-1350 Бк/кг - для будівництва підземних споруд, спорудження гребель, шляхів поза межами населених пунктів (3 клас).

Для матеріалів, що мають естетичну цінність питома активність не повинна перевищувати 3700 Бк/кг. Їх використовують з обмеженнями для внутрішнього та зовнішнього оздоблення об'єктів громадського призначення.

Потужність γ -випромінення в приміщенні:

- а) у житлових приміщеннях, дитячих та лікувально-профілактичних закладах, які проектуються, будуються та реконструюються потужність становить не більше 30 мкР /год;
- б) у приміщеннях будівель і споруд, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, у тому числі житлових, - 50 мкР/год, (за виключенням дитячих, санаторно-курортних та оздоровчо-лікувальних закладів).

Рівень ^{222}Rn (радон) у приміщеннях та спорудах, які будуються та реконструюються для експлуатації з постійним перебуванням людей, становить 50 Бк/м³ повітря; ^{222}Rn (радон) - 3 Бк/м³. У приміщеннях та спорудах, які експлуатуються з постійним перебуванням людей, рівень ^{222}Rn у зоні дихання становить 100 Бк/м³, а для ^{220}Rn - 6 Бк/м³ (для дитячих та лікувально-профілактичних закладів - у два рази нижчий).

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

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

Допустима концентрація (питома активність) ^{228}U та ^{232}Th у мінеральних добривах становить 1,9 кБк/кг.

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

Категорія А – особи, які постійно чи тимчасово працюють безпосередньо з джерелами іонізуючих випромінень, вона не повина включати більше 1% осіб від загальної кількості населення в країні. До цієї категорії включається персонал. Люди, віднесені до категорія А , у свою чергу підрозділяються на дві підгрупи. До І-ї підгрупи відносять осіб гранично допустима доза опромінення яких може становити 0,3 річної дози опромінення, всі вони підлягають індивідуальному дозиметричному контролю. До 2-ї підгрупи відносять осіб,

опромінення яких не перевершує 0,3 крайньої допустимої річної дози опромінення, для них не обов'язковий індивідуальний дозиметричний контроль.

Гранично допустима доза (ПДД), або дозова межа для осіб категорії-А – еквівалент дози за рік, яка за умови рівномірної дії протягом 50 років не обумовлює помітних неблагоприємних змін здоров'я людини. Окрім ліміту доз для всіх категорій опромінених осіб, НРБУ-97 встановлюється перелік допустимих рівнів (ДР):

Для осіб категорії А:

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

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

Для жінок дітородного віку (до 45 років) середня еквівалентна доза зовнішнього локального опромінення (зародка та плоду) за будь-які два післяродові місяці не повинна перевищувати 1 мЗв. При цьому за весь період вагітності ця доза не повинна перевищувати 2 мЗв, а кількість допустимих рівнів зменшена у 20 разів.

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

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

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

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

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

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

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

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

Категорія Б – які безпосередньо не зайняті роботою з джерелами іонізуючих випромінень, але в зв'язку з місцем проживання та розташуванням робочих місць у приміщеннях та на промислових майданчиках об'єктів з радіаційно-ядерними технологіями можуть отримати додаткове опромінення, вона не повина включати більше 3% осіб від загальної кількості населення в країні. Крайньо допустима доза опромінення для осіб категорії-Б еквівалентна дозі за рік, яка за умови рівномірної дії протягом 70 років не обумовлює помітних негативних змін здоров'я людини. Для осіб категорії Б встановлюються допустимі рівні:

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

Категорія В – ця категорія включає решту населення країни. Контроль за опроміненням осіб категорії-В відноситься до компетенції Міністерства охорони здоров'я. Для осіб категорії В встановлюються допустимі рівні:

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

Одним із важливих заходів зменшення доз опромінення осіб категорії В є встановлення гігієнічних регламентів вмісту окремих радіонуклідів у продуктах харчування та питній воді. Наказом МОЗ від 19.08.97 № 255 затверджені Державні гігієнічні нормативи “Допустимі рівні вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді”, що запроваджені з метою подальшого зниження дози внутрішнього опромінення населення України шляхом обмеження надходження радіонуклідів з продуктами харчування та стимуляції створення і дотримання виробниками необхідних умов одержання чистої продукції на забруднених територіях. Числові значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr у продуктах харчування та питній воді наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1
Значення допустимих рівнів вмісту радіонуклідів ^{137}Cs і ^{90}Sr
у продуктах харчування та питній воді, Бк/кг, Бк/л

№ п/п	Назва продукту	^{137}Cs	^{90}Sr
1	Хліб, хлібопродукти	20	5
2	Картопля	60	20
3	Овочі (листяні, коренеплоди, столова зелень)	40	20
4	Фрукти	70	10
5	М'ясо і м'ясні продукти	200	20
6	Риба і рибні продукти	150	35
7	Молоко і молокопродукти	100	20
8	Яйця (шт.)	6	2

9	Вода	2	2
10	Молоко згущене і концентроване	300	60
11	Молоко сухе	500	100
12	Свіжі дикоростучі ягоди і гриби	500	50
13	Сушені дикоростучі ягоди і гриби	2500	250
14	Лікарські рослини	600	200
15	Спеціальні продукти дитячого харчування	40	5
16	Інші продукти	600	200

Для осіб категорії Б величини допустимий рівень (ДР) та допустиме радіоактивне забруднення (ДЗ) у 10 разів нижчі відповідних ДР і ДЗ для осіб категорії А. Ліміти річної ефективної та еквівалентної дози опромінення осіб подані в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2
Ліміти річної ефективної та еквівалентної дози опромінення осіб,
мЗв / рік

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

У Росії з 1996 року, відповідно до Закону РФ “Про радіаційну безпеку населення”, уведені наступні дозові межі: для персоналу пов’язаного з роботою з джерелами іонізуючих випромінювань 20 мЗв протягом року; для населення – 1 мЗв.

Величину ефективної та еквівалентної доз зовнішнього опромінення визначають **розрахунковим методом**, при якому використовують відповідні коефіцієнти.

При роботі зі зовнішніми джерелами опромінення регламентується три класи робіт з радіоактивними речовинами, для проведення яких виділяються три зони.

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

Ліміти доз для обмеження медичного опромінення населення НРБУ-97 не встановлюються, а необхідність проведення певної рентгенологічної чи

радіологічної процедури обґрунтовується лікарем на основі показань. Величина дози має враховувати необхідність запобігти виникненню детерміністичних ефектів у здорових тканинах та організмі в цілому.

Повторність однотипних діагностичних досліджень (процедур) допускається тільки необхідністю і можливістю отримання нової чи розширеної інформації. Це пов'язано з тим, що доза на поверхні шкіри при проведенні рентгенографії різних частин тіла людини коливається в діапазоні від 0,5 до 5 сЗв.

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

Для осіб, які добровільно надають допомогу пацієнтам при проведенні діагностичних та терапевтичних процедур, доза не повинна перевищувати 5 мЗв на рік.

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

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

Зона – I-а – тут знаходяться основні джерела радіації, тут ніколи неповинні знаходитися люди.

Зона – II-а – тут періодично можуть перебувати працівники для здійснення ремонту, видалення радіаційних відходів, для заміни радіаційного палива.

Зона – III-я – тут постійно протягом робочої зміни перебувають люди.

Територія, на якій знаходяться джерела радіації повина мати захистну буферну зону, де не можна будувати лікувальних, рекреаційних та дитячих закладів; збирати лікарські рослини, гриби та ягоди.

Верховна Рада України ухвалила закон, що визначає чотири наступні зони територій радіоактивного забруднення:

Зона періодичного радіоактивного контролю, або низького забруднення. Тут дозволяється збирання грибів, лікарських рослин, заготівля деревини, сільськогосподарська та інші види діяльності здійснюються без обмежень. Полювання і рибальство дозволяється відповідно до правил, що діють на території України. У підсобних і приватних господарствах ніяких обмежень щодо використання тварин і птахів не запроваджується.

Зона посиленого радіоактивного контролю або середнього забруднення. Тут дозволено збирання грибів, ягід, лікарських рослин, заготівля сіна, але з обов'язковим попереднім дозиметричним контролем. Заготівля деревини і використання продуктів її переробки здійснюється без обмежень. У підсобних та сільських господарствах різної форми і власності рекомендується періодичний вибірковий радіометричний контроль молока, м'яса, кормів, плодів, ягод, збіжжя та іншої продукції.

Зона гарантованого добровільного відселення. Це зона високого радіаційного забруднення. У цій зоні заготівля грибів, ягід, лікарських рослин, кормів заборонені. Впроваджується особливий режим сільськогосподарської діяльності і обмежене землекористування (скорочення рільництва, зменшення робіт по обробітку земель), переспесціалізація товарного сільського господарства та насінництва на вирощування технічних культур, наприклад, таких як льон, конопля та інші; переспесціалізація тваринництва на інтенсивне хутрове звірівництво, конярство. Випасання худоби на пасовищах цієї зони здійснюється при досягненні висоти трави не менше 10 см. При щільності забруднення понад 15 Кі/км² заготівля деревини допускається тільки у зимову пору і при наявності снігового покриву. Використання деревини як палива та виробництва дьогтю забороняється. Заборонено випасати тут молочну та м'ясну худобу. Заготовляти сіно можна тільки для робочих коней. Використання гною як органічного добрива заборонено.

Зона відчуження – надзвичайно високого радіаційного забруднення. Певною мірою цю зону можна використовувати тільки як дослідницький полігон для вивчення та розробки заходів захисту від ядерних катастроф. Всяка нормальна виробнича і соціальна діяльність людини тут заборонені.

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

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

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

3.3. Захист від іонізуючого випромінювання

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

Для будівництва закладів для роботи з радіоактивними джерелами необхідно вибирати території з підвіреної 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 випромінення (α -, β -частинки, γ -кванти).

Захист від зовнішнього випромінення 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 -опромінення використовують екрани з метвлів 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. Для γ -випромінення шар половинного послаблення різних матеріалів наведений у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Величина шару половинного послаблення γ -випромінення для різних матеріалів ($E_\gamma = 1\text{MeV}$)

Матеріал	Густина матеріалу, г/см ³	Шар половинного послаблення, см
Вода	1,0	13,0
Деревина	0,7	21,0
Поліетилен	0,9	14,0
Склопластик	1,4	10,0
Бетон	2,3	5,6
Алюміній	2,7	6,5
Сталь, залізо	7,8	1,8
Свинець	11,3	1,3

Товщину захисного екрану розраховують за кратністю послаблення дози. Підрахувавши дозу без захисту і визначивши кратність перевищення дози, проводять розрахунок послаблення дози до гранично допустимого рівня, використовуючи для цього показник шару половинного послаблення (табл. 3.4.)

При розрахунках товщини шару половинного послаблення слід урахувати, що він залежить від енергії випромінення. Так, при енергії γ -квантів, яка дорівнює 0,2 MeV; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,5 і 20 MeV шар половинного послаблення для свинцю буде - відповідно 0,2 см; 0,4; 0,7; 1,0; 1,7; 2,0 см.

Таблиця 3.4

Залежність кратності зниження дози від кількості шарів половинного послаблення

Кількість шарів половинного послаблення	Кратність зниження дози	Кількість шарів половинного послаблення	Кратність зниження дози

1	2	9	512
2	4	10	1024
3	8	11	2048
4	16	12	4096
5	32	13	8192
6	64	14	16384
7	128	15	32768
8	256	16	65538

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 ($7 \cdot 10^{-3}$ Р),
 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 випромінювання, а також здійснюється герметизація виробничого обладнання для запобігання забруднення приміщень лабораторії та навколишнього середовища. Застосовуються санітарно-технічні пристрої і спеціальне обладнання, використовуються спеціальні захисні матеріали, засоби індивідуального захисту. Виконуються правила особистої гігієни, проводиться дезактивація приміщень, апаратури та засобів індивідуального захисту.

Всі засоби захисту можна застосовувати окремо або в різних комбінаціях, але так, щоб дози зовнішнього фотонного опромінення осіб категорії А не перевищували 7 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 їжи 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 повина передбачати дезактивацію стічних вод. Очистні споруди необхідно розміщувати на території цього закладу.

3.4. Дезактивація робочих приміщень і обладнання

У всіх приміщеннях, де виконуються роботи з відкритими радіоактивними джерелами, **щоденно** проводять вологе вбирання, не рідше 1 раз протягом місяця. –Робочий інвентар закріплюється за приміщенням для роботи кожного класу і зберігається в спеціально відведених місцях.

Радіоактивне забруднення зовнішніх поверхонь устаткування, апаратури, інструменту, лабораторного посуду, поверхонь робочих приміщень не повинно перевищувати допустимих рівнів загального забруднення, що встановлені НРБУ-97.

У всіх приміщеннях з постійним перебуванням персоналу, призначених для робіт із джерелами радіації у відкритому вигляді, має проводитися щоденне вологе прибирання. Періодично, але не рідше одного разу на місяць, робиться генеральне прибирання з дезактивацією стін, підлоги, дверей і зовнішніх поверхонь устаткування.

Прибирання організовується з максимальним застосуванням засобів механізації. ***Сухе прибирання виробничих приміщень, за винятком вакуумного, забороняється.***

У приміщеннях постійного перебування персоналу, де працюють з джерелами у відкритому вигляді, має бути передбачений сталий запас дезактивуючих засобів і миючих розчинів, що добираються з урахуванням властивостей радіонуклідів та їхніх сполук, з якими йде робота, а також характеру поверхонь, що підлягають дезактивації.

Після закінчення робіт кожен працівник має прибрати своє робоче місце і при потребі дезактивувати устаткування, інструмент, робочий посуд, які були задіяні в процесі роботи з відкритими джерелами.

У разі забруднення радіоактивними речовинами приміщень або їх окремих ділянок негайно приступають до дезактивації. Якщо забруднення трапилось порошковою сухою речовиною, то його збирають злегка вологою ганчіркою, попередньо вимкнувши вентиляцію. Велику кількість розлитих радіоактивних рідин засипають стружкою. Після того, як основна їх кількість буде видалена, залишки забруднення знищують обробкою спеціальними

миючими засобами. Дезактивацію забруднених поверхонь проводять за допомогою м'яких щіток, тампонів, змочених миючими засобами, або способом змиву.

Після дезактивації спеціальними миючими засобами поверхню рясно промивають водою і протирають сухою чистою ганчіркою. Потім проводять контроль чистоти поверхні відповідним радіометричним приладом.

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

Використані щітки, тампони збирають у пластикові мішки або в інші ємкості та видаляють як радіоактивні відходи.

Як миючі засоби можуть використовуватись такі розчини:

- 1) пральний порошок - 10 мл, луг - 10 мл, вода - до 1 л.
- 2) щавелева кислота - 5 г, кухонна сіль - 50 г, миючий засіб ДС-РАС – 10 мл, вода – до 1 л.

Якщо не вдалося ефективно провести дезактивацію вказаними засобами, то для додаткової обробки поверхонь використовують розчин перманганат калію -40 г, кислоти сірчаної (питома маса - 1,84) - 5 мл, води - до 1 л.

Перманганат калію розчиняють в 1 л води підігритої до 60⁰С, потім охолоджують до кімнатної температури. У розчин доливають сірчану кислоту і перемішують.

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

Для дезактивації цінного обладнання, приладів готують наступні розчини:

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

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

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

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

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

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

3.5. Заходи індивідуального захисту і особистої гігієни при роботі з радіоактивними речовинами

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

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

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

У приміщеннях для роботи з відкритими радіоактивними джерелами забороняється: перебування співробітників без необхідних засобів індивідуального захисту; зберігання харчових продуктів, тютюнових виробів, косметики; робота з піпеткою без груші. Маніпуляції з піпеткою проводять за допомогою гумової груші або використовують автоматичні дозатори із змінними кінчиками.

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

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

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

При негайній обробці шкіри, незалежно від ступеня її забруднення і дезактивуючої речовини, видалається до 90...98 % нефіксованих радіонуклідів, які на ній знаходяться. При незначному забрудненні (перевищення допустимих рівнів не більше, ніж у 2,5 раза) радіоактивні речовини добре видалаються під

час миття теплою проточною водою з 72 %-м господарським милом за допомогою волосяної щітки. Щіткою користуються без натиску, щоб не викликати пошкодження шкіри і проникнення радіоактивних речовин всередину організму. Вода має бути проточною з температурою не вище 35°C, оскільки використання гарячої води погіршує результати очистки.

У разі, коли відбулася фіксація радіоактивних речовин у результаті їх реакції з білками шкіри, звичайна обробка за допомогою води і мила не ефективна. Для видалення остаточної активності використовують миючі засоби залежно від хімічних властивостей радіоактивних речовин: адсорбенти (каолінова паста, порошок "Новость" та ін.), комплексоутворювачі (трилон Б, тринатрієва сіль, лимонна кислота, унітіол, оксатіол, розчин соди та ін.), слабкі розчини кислот (частіше соляна і лимонна). Ці засоби руйнують зв'язки ізотопу з білками шкіри, сорбують радіоактивні речовини і легко змиваються зі шкіри.

Для дезактивації шкіряних покривів можна використовувати препарат "Защита" та миючі розчини (табл. 3.5).

Таблиця 3.5.

Рецепти миючих засобів, що використовуються для дезактивації шкіри

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

При дезактивації необхідно враховувати хімічні закономірності, наприклад, забруднення радіоактивним фосфором не треба змивати милом,

оскільки при цьому утворюються нерозчинні фосфати. У цьому разі краще користуватись синтетичними миючими засобами, наприклад ОП-10 або 2 %-м розчином соди.

Радіоактивний йод легко видаляється при обробці водою з милом і наступним використанням окислювачів (перманганат калію) та обробкою розчином сульфїту. Використання води і мила ефективно при забрудненні ^{42}K і ^{24}Na . В інших випадках краще користуватись комплексоутворюючими засобами: трилон Б (при забрудненні ^{90}Sr та ^{59}Fe); унітіол та оксатіол (при забрудненні ^{198}Au і ^{203}Hg); каолінове мило (при забрудненні ^{226}Ra).

При невеликих забрудненнях шкіряних покривів тулуба необхідно ретельно вимитись під душем з господарським 72%-м милом або засобом ОП-10. При необхідності більш ретельної дезактивації протягом 2 хвилин проводять обробку розчином 3 (табл.3.5).

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

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

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

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

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

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

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

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

Захист від радіаційного опромінення включає:

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

Індивідуальний захист від радіаційного опромінення передбачає наступне:

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

У приміщеннях для проведення робіт I-го класу повинен бути санпропускник до приміщення II-го класу. У приміщеннях, де проводяться роботи II-го класу повинен бути обладнаний санпропускник до приміщення III-го класу або духова з окремих шкафчиками для кожного працівника. Для робіт III-го класу передбачається душ звичайного типу.

Індивідуальний захист від радіації передбачає споживання чистих від радіонуклідів продуктів харчування (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Гранично допустимі рівні вмісту радіонуклідів у продуктах харчування

Назва продуктів	Активність	
	цезію	стронцію
Питна вода	$5 \cdot 10^{-10}$	10^{-10}

Молоко, молочні продукти	10^{-8}	10^{-8}
М'ясо, риба, птиця, яйця	$2 \cdot 10^{-8}$	-
Картопля, овочі	$1,6 \cdot 10^{-8}$	10^{-9}
Борошно, хліб, хлібопродукти, цукор	10^{-8}	10^{-9}
Свіжі ягоди, гриби	$4 \cdot 10^{-8}$	-
Продукти дитячого харчування	$5 \cdot 10^{-9}$	10^{-10}
Лікарські рослини	$2 \cdot 10^{-7}$	-

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

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

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

3.6. Вимоги до облаштування і організації роботи радіологічних лабораторій

Усі роботи з використанням відкритих джерел радіації поділяються на 3 класи. Клас робіт залежить від активності радіоактивних речовин на робочому місці, пов'язаної з радіотоксичністю нукліда і встановлюється органами Держсанепідемслужби МОЗ, відповідно до таблиці 3.7. При внутрішньому плануванні слід передбачити їх зонування: перша зона “чиста” – це приміщення куди забороняється вносити радіоактивні речовини у будь-якому агрегатному стані. Друга зона “умовно чиста” – тут розміщують вимірювально-розрахункове обладнання. Третя зона – “брудна” – це приміщення, де готують, розфасовують і зберігають радіоактивні препарати.

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

- Відкривати оболонку радіоактивних препаратів категорично забороняється;

- Переносити радіоактивні речовини необхідно тільки в захистних контейнерах і витягати їх з них забороняється;
- При виконанні робіт робоче місце має бути на відстанні не менше 0,5 метра від контейнера;
- Неможна залишати контейнер відкритим, зглядувати в нього, опиратися на нього;
- Час тривалості роботи з радіоактивними речовинами регламентується у відповідності до доз опромінення.

Таблиця 3.7

Клас робіт залежно від групи радіотоксичності ізотопу

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

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

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

Приміщення для робіт I класу розділяються на три зони:

- **Перша** - приміщення, що не обслуговуються, в котрих розміщують технологічне обладнання і комунікації, що є основними джерелами радіації і радіоактивного забруднення. Перебування персоналу в необслуговуваних приміщеннях при працюючому технологічному обладнанні не допускається.
- **Друга** – приміщення періодичного обслуговування персоналом. Вони призначені для ремонту забрудненого устаткування, інших робіт, пов'язаних із розкриванням технологічного устаткування (вузлів завантаження і

вивантаження радіоактивних матеріалів), а також для тимчасового зберігання сировини, радіоактивних відходів і готової продукції.

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

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

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

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

Приміщення лабораторії, що призначені для проведення робіт з радіоактивними речовинами, до початку експлуатації приймає по акту комісія у складі представників закладу, технічної інспекції профсоюзу, органів внутрішніх справ, що дає право лабораторії на отримання, зберігання і використання радіоізотопів.

Улаштування, обладнання і внутрішнє планування лабораторії мають сприяти зниженню потужності дози до допустимих лімітів. Площа лабораторії в розрахунку на одного працюючого має становити не менше 10 м².

Радіологічна лабораторія повинна мати спеціально сплановані приміщення: сховище-фасова (15-20 м²) і препаратурська радіохімічна (15-20 м²), радіометрична (1-2 кімнати площею 10-16 м²), санпропускник (душ) і побутові приміщення.

Підлогу в приміщенні покривають пластиком або лінолеумом, краї якого піднімають на висоту 20 см і заводять за плінтус на покриття стін. Щілини і стики покриття промазують мастикою або шпаклюють. Стіни у сховищі-фасовій, препаратурській і радіохімічній кімнатах на висоту 2 м обкладають глазурованим кахлем, вище 2 м стіни та стелю покривають

масляною фарбою. Відділки приміщення і розміщення обладнання мають виключати накопичення пилу в кутках і забезпечувати легкість прибирання. Кутки приміщення повинні бути закругленими, полотна дверей і сплетіння вікон - мати прості профілі, а обладнання і робочі меблі - гладку поверхню, прості конструкції та малосорбуюче покриття. Для ефективності дезактивації всі комунікації (теплові, електричні, газові та водопровідні) роблять захованими. В лабораторії необхідно мати холодну та гарячу воду. Управління водопровідними кранами має бути ліктєове або педальне, а конструкція раковин - запобігати розбризкуванню води.

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

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

Еталонні джерела і радіоактивні препарати зберігають у сейфах, що виключають доступ до них сторонніх осіб. Для зберігання переважно γ -активних речовин призначені сейфи типу СЗ, ССП, 2-ССЗ, що мають товщину свинцевого захисту 20-50 мм. Для зберігання β -активних речовин використовують сейфи типу З, СС, С та інші, що виготовлені з вуглеродистої сталі товщиною 3-4 мм. В робочих кімнатах розміщують тільки найнеобхідніше обладнання, в тому числі контейнери для рідких і твердих відходів.

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

Матеріали, які слабо утримують радіацію, легко дезактивувати. Тому для будівництва радіологічних лабораторій слід використовувати матеріали, що мають мінімальну проникливість та адсорбцію, не повинні бути пористими.

Устаткування в лабораторії розміщується найнеобхідніше, щоб було легко проводити дезактивацію.

Тут повинні бути контейнери для рідких та твердих радіоактивних відходів (РАВ). Утилізацію цих відходів здійснюють згідно з діючими інструкціями та санітарними правилами.

3.7. 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 та 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: яблуня, 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 вибомі радіопротектори, які зменшують уражальну 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 захисної 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, обліпиха, 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, листові 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 отруєнь. 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, помідорах, салаті. Кобальту багато в капусті, салаті, огірках, картоплі, помідорах.

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.

Нескінчений перелік препаратів та екстрактів з рослин, які проявляють протирадіаційну дію: женшень, елеутерокок, софора, аралія маньчжурська, барбарис корейський і амурський, родіола рожева, солодка уральська, чорноплідна горобина, ехінацея, айр, м'ята, хвоя пихти, сосни, ялини тощо. Досить доступні препарати на основі грибів, чаги, водоростей та ієших гідробіонтів, зокрема молюсків – мідій, дріжджів, мікроорганізмів, зміїної та бджолиної отрути, апіпродукти (маточне молочко, прополіс, бджолина обніжка), мумійо, похідні хітину, меланіни рослин і тварин тощо.

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 *комплексони*, 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 неспеціфічних 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.

Контрольні питання

1. Визначіть основні принципи радіаційної безпеки людини.
2. Назвіть категорії осіб, які опромінюються.
3. Вкажіть зони розподілу території, де працюють з джерелами радіації.
4. Обґрунтуйте поняття про гранично допустиму дозу.
5. Охарактерисуйте ефекти часу, кількості, відстані та екрану.
6. Що значить “Шар половинного ослаблення опромінення” ?
7. Як здійснюється дезактивація приміщень, де працюють з радіоактивними речовинами?
8. Вкажіть індивідуальні засоби захисту при роботі з радіоактивними речовинами з врахуванням їх класу.

Охарактеризуйте вимоги щодо облаштування радіологічних лабораторій.

Іонізуюче опромінення це: - потік теплової енергії;

- потік корпускулярних частинок, фотонів, квантів;
- потік нейтонів.

4. ЧУТЛИВІСТЬ ТВАРИН РІЗНИХ ВИДІВ ДО ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

Чутливість тварин до радіації. 4.2. Часткове опромінення тварин і опромінення всього їх тіла. 4.3. Іонізуюче ушкодження окремих біологічних систем. 4.4. Вплив опромінення на формені елементи крові. 4.5. Вплив опромінення на здатність тварин до розмноження та їх спадковість. 4.6. Канцерогенна дія опромінення. 4.7. Променеві хвороби. 4.8. Розвиток толерантності до опромінення.

4.1. Чутливість тварин до радіації

Радіочутливість – це здатність живих організмів реагувати у відповідь на подразнення, викликане поглинутою енергією іонізуючого випромінювання. Радіочутливість тварин оцінюється за дозою радіації напівлегальною (гине 50%), критичною (гине 75%) і летальною (гинуть всі 100% опромінених організмів). Частіше радіочутливість оцінюється за летальною дозою радіації. Чутливість клітин до опромінення залежить від швидкості процесів обміну, що відбуваються в них, кількості і щільності внутрішньоклітинних структур та інтенсивності поділу клітин.

Різні таксономічні одиниці тваринного світу мають різну радіочутливість. Це ми пояснюємо різним філогенетичним віком таксонів. Найдовший такий вік мають одноклітинні організми (віруси, бактерії, найпростіші), тому їх радіочутливість найнижча серед тваринних живих систем. Наймолодшим таксоном тваринного світу є ссавці, тому вони характеризуються найвищою радіочутливістю.

Якщо процес еволюції організмів та екосистем проходив під впливом постійного радіаційного фону, то опромінення здійснювало вплив на життя.

Цікавими для науки і практики будуть дослідження радіочутливості тварин у залежності від розмірів їх тіла, типу живлення (рослинної, хижаки, всеїдні), чи вони характеризуються чітко вираженою географічною локальністю проживання, чи високою міграційною здатністю (наприклад, перелітні птахи) тощо.

В організмах рослин і тварин концентрація природних радіонуклідів, як правило, нижча, ніж у ґрунті, на якому ростуть рослини і живуть тварини. Це певною мірою свідчить про те, що більшість природних радіонуклідів погано засвоюються рослинами і тваринами. Винятком з цього можуть бути ^{40}K , ^{14}C , ^2H , які засвоюються рослинами і тваринами досить інтенсивно.

Значною мірою радіочутливість організмів може визначатися біохімічним складом їх клітин і тканин, що може якоюсь мірою пояснювати індивідуальні особливості радіочутливості організмів щодо радіації.

Іонізуюче опромінення може впливати на організм тварин двома шляхами: зовнішнім і внутрішнім.

Зовнішнє опромінення – це опромінення космічними променями, природними радіоактивними речовинами ґрунту і повітря, радіоактивними продуктами ділення, що забруднюють навколишнє середовище внаслідок проведення випробування ядерної зброї, скиду відходів атомної промисловості і аварій ядерних реакторів, проведення наукових досліджень, використання радіоактивних джерел у медицині і народному господарстві.

Величина дози радіації, що створюється космічними променями, в залежності від широти і висоти над рівнем моря може змінюватися в певних межах. Радіоактивність атмосферного повітря теж варіює у широких межах. В атмосферному повітрі над сушею концентрація радіонуклідів вища, ніж над океаном. Середня концентрація у повітрі становить α -активних

аерозолей $4 \dots 10^{-13}$ Ки/л, β -активних – $3 \dots 10^{-13}$ Ки/л, для газів родону і торону у приземних шарах повітря – $7 \dots 10^{-14}$ Ки/л.

Рівень забруднення від радіаційної хмари при ядерному вибусі (первинні випадання продуктів вибуху) може сягати декількох десятків і сотень рентген за годину. Якщо на цих територіях знаходяться тварини, то відбудеться їх опромінення. У залежності від величини дози і тривалості опромінення в організмі тварин виникають різноманітні ураження, внаслідок чого виникає променева хвороба того чи іншого рівня складності.

Вплив іонізуючого випромінювання на тваринні організми залежить від типу і дози опромінення. Летальна доза опромінення певною мірою залежить від виду тварин, їх віку, статевих та індивідуальних особливостей. Доза, що обумовлює загибель 50% піддослідних тварин, називається напівлетальною (ЛД 50%), а доза, що обумовлює загибель всіх твари – абсолютно летальною (ЛД 100%).

При значному забрудненні і тривалому знаходженні продуктів радіаційного ділення на шкірі тварин, у результаті впливу, головним чином, бета-частинок виникає ураження шкіри – радіаційні дерматити.

Внутрішнє (інкорпороване) опромінення виникає в результаті попадання в організм тварин як природних, так і штучних радіоактивних речовин. В організм вони потрапляють різними шляхами (через органи дихання, травний тракт, певною мірою через шкіру і слизові оболонки носа та рота, рани).

До тваринного організму потрапляють і ті радіоактивні речовини, що накопичились у рослинах, воді, які тварина поїдає і п'є. Якщо опромінення організму тварин у цьому випадку будуть не значні, то і за цих умов використання їх м'яса, молока, яєць несе певну небезпеку.

На тварин різних видів радіація діє по-різному. Також спостерігається значний діапазон коливань впливу опромінення на тварин одного виду, різного віку (молоді, зрілі, старі), різного фізіологічного та клінічного стану. Це можна пояснювати зміною співвідношення, а певною мірою і зміною біохімічного складу клітин і тканин у живій системі.

Летальна доза (ЛД₅₀) для овець становить 230-240 Р; для свиней, коней, кролів, ослів – 500-550 Р; для великої рогатої худоби в залежності від віку : телята до трьох днів 150 Р, до 3-4 місяців – 300 Р, віком 15-18 місяців – 400 Р, дорослі корови і бугаї – 650 Р. Порівняно низьку радіочутливість мають кури, у них ЛД₅₀ становить понад 1100 Р.

Радіація різної дози може обумовити мутагенез. Мутації можуть бути як корисні так і шкідливі. За умови появи корисних мутацій організм стає більш пристосованим до середовища і конкурентноздатним, тому ці мутації з часом стають надбанням популяції. А шкідливі мутації обумовлюють нездатність організму до виживання, тому вони зникають. Тому, хоча позитивні мутації у тварин появляються значно рідше, ніж негативні, але перші є помітними, а другі майже ні. Окрім того, організм тварин виробив

спеціальний механізм, який з одного боку зберігає набуту мутацію, а з іншого – зводить до мінімуму вірогідність утворення нових мутацій. Цей механізм забезпечується системою репарації ДНК. Всі інші органели та компоненти клітин не мають таких систем репарації, бо не відіграють такого суттєвого значення для збереження виду. Якщо доза опромінення настільки значна, що репаративні ферменти не можуть своєчасно здійснити репарацію ДНК, то виникає стійка мутація, що обумовлює патологію. Саме тому імунна система прагне відшукати клітину-носія цієї мутації і знищити її.

Для тварин не існує мінімальної дози опромінення, яка б за умови одноразового опромінення призводила до смерті всіх особин того чи іншого виду. Тому для визначення летальної дози користуються поняттям дози, за умови дії якої гине 50% тварин даної групи чи виду.

Визначають і сублетальну дозу опромінення. Вона не може бути безпосередньою причиною загибелі клітин, але сприяє їй при тривалому опроміненні. Прикладом можуть бути одиничні розриви ДНК. Вони не смертельні, проте чим їх більше, тим ймовірнішою стає поява подвійних розривів, які зумовлюють загибель клітин. Потенціально летальні ушкодження ДНК мають здатність, за певних умов, і до їх усунення за рахунок процесів репарації.

Під час дії іонізуючого опромінювання ушкоджуються також й інші біологічно активні структури і сполуки, до таких можна віднести білки, ліпіди, вуглеводи, гормони, вітаміни. Наприклад, при опроміненні досить високими дозами (100 Гр і більше) може змінюватися конфігурація білкових молекул, спостерігається їх агрегація та деструкція. Якщо організм тварин опромінюється значно меншими дозами (до 50 Гр), то може знижуватися концентрація вільних амінокислот, особливо метіоніну та триптофану, що сповільнює біосинтез білка.

Зменшення вмісту сульфгідрильних груп у тканинах опроміненого організму – один з найбільш ранніх ефектів дії радіації.

Ферментні системи реагують на опромінення по різному. Їхня активність може зростати, знижуватися або залишатися незмінною, проте при великих дозах опромінення вони інактивуються.

Високою радіочутливістю характеризуються процеси, що супроводжуються утворенням АТФ. Насамперед це окислювальне фосфорилування у внутрішній мембрані мітохондрій.

Опромінення розчину простих цукрів високими дозами спричиняє їхнє окислення і розпад поліцукрів на прості цукри, зменшення в'язкості. При поглинанні організмами доз до 5-10 Гр порушуються процеси розщеплення глюкози, знижується вміст глюкози в тканинах, змінюються властивості ряду інших вуглеводів.

Дія радіації призводить до підвищення окислюваності ліпідів, що зумовлює утворення перекисів, до перерозподілу вмісту ліпідів у різних тканинах.

Поглинена макромолекулами радіація може мігрувати по молекулі, зумовлюючи зміни в найвразливіших її структурах. Наслідком такої дії є порушення структури та функції біологічних мембран, а згодом і метаболізму.

Дія радіації зумовлює різноманітні ушкодження внутрішньоклітинних структур. Найчутливіші до дії радіації в клітині є ядро та мітохондрії. При ушкодженні мітохондрій порушуються процеси енергозабезпечення клітини. В наслідок змін в ядрі пригнічуються енергетичні процеси, порушується функція мембран. Можливі також всі види мутацій (зміна числа і структури хромосом, структури генів), що призводить до утворення білків з порушеною структурою, тому вони втрачають біологічну активність.

Опромінення здійснює вплив на імунну систему, в наслідок знижується захистний бар'єр шкіри, крові, значно знижується резистентність організму.

Появу збудження і депресії, порушення сну, очевидно є наслідком ушкодження нервової системи, розладу в ньому функції корекції.

Зі збільшенням дози опромінення збільшується ефект радіаційного ураження. Хімічні фактори, що впливають на радіаційний ефект поділяють на сенсibilізатори та протектори. Біологічні фактори впливу на радіаційний ефект обґрунтовуються законом Бергон'є-Трибонто.

4.2. Часткове (локальне) опромінення тіла тварин і опромінення всього їх тіла

Опромінення живих систем може бути зовнішнім (космічні, природні джерела тощо) та внутрішнім (інкорпоровані джерела). Опромінення може бути короткочасним і тривалим. Опромінення може бути безперервним і фракціонованим (перервним). Опромінення може бути тотальним (всього тіла) і локальним (певних обмежених ділянок тіла). Опромінення може бути радіацією одного виду і одночасно всіма видами радіації (альфа-, бета-частинками, гама-променями). Дуже часто опромінення є поєднаним, комбінованим.

Встановлено, що при опроміненні незначних ділянок тіла спостерігаються інші наслідки, ніж при опроміненні всього тіла тварин. За умови опромінення частини тіла для одержання такого ефекту, як при опроміненні всього тіла, потрібна доза в два рази більша.

Локальне опромінення широко використовується в медицині для лікування злоякісних пухлин. Локальне опромінення пухлини спричиняє часткову загибель її клітин за механізмами некрозу й апоптозу та активацію процесів пер оксидного окислення ліпідів. Однак при опроміненні неминуче

ушкоджуються й здорові органи та системи організму, знижується їхня загальна і протипухлинна резистентність, що спричиняє розвиток рецидивів та метастаз пухлини.

Органи грудної клітки і черевної порожнини мають значно вищу чутливість до опромінення, ніж деякі інші відділи. Наприклад, голова має порівняно низьку радіочутливість, а передні і задні кінцівки – ще нижчу.

Органи тазової порожнини характеризуються високою радіочутливістю. За цією властивістю вони поступаються тільки органам грудної клітки.

При опроміненні організму значними дозами значно знижується його резистентність, й тварини уражаються і можуть загинути від інфекції. Цим, певною мірою, можна обґрунтовувати появу нових хвороб, типу СНІД, появу здатності досить банальної мікрохлори викликати тяжкі захворювання.

4.3. Іонізуюче ураження окремих біологічних систем

Гіпотетично, станом радіобіології на сьогодні, різну чутливість клітин, тканин, органів, систем органів певною мірою можна пояснювати їх походженням від зародкових листків. Так, найвищою радіочутливістю відрізняються, наприклад, ті тканини, які походять від ендодермального зародкового листка, а найнижчою – ті, які походять від екзодермального. А проміжний стан займають тканини, які походять від мезодермального зародкового листка. Таке наше обґрунтування радіочутливості базується на тому, що різні зародкові листки мають різний вік. Тому листки з більш довгим віком, наприклад екзодерма, більшою мірою реалізували вироблення торелантності до опромінення.

За умов опромінення клітин спостерігаються наступні морфологічні зміни, які тісно пов'язані з фізіологічними процесами в клітині:

- збільшення кількості гранул у клітинах, обумовлені, мабуть, порушеннями процесів регуляції;
- клітини дуже набрякають і вакуолізуються, мабуть у результаті порушення обміну води та зміною осмотичних процесів, що впливає на спрямованність руху води, обумовлюючи набрякання клітин, або зневодження ;
- порушується здатність клітин фарбуватися, мабуть, у результаті змін рН внутрішньоклітинних рідин;
- змінюється структура клітин, що може бути результатом механічного та теплового ефекту радіації;
- руйнуються і розмиваються оболонки клітин, це теж може бути результатом фізичної та хімічної дії радіації;

- може спостерігатися розпад ядра і аглютинація (склеювання) хромосом, що певною мірою можна пояснювати зміною заряду як складових елементів клітини, так і її поверхневого заряду.

Окрім того, спостерігаються і такі функціональні зміни;

- знижується здатність до росту і розмноження;
- знижується обмін речовин;
- знижується секреторна активність, що може обумовлювати самотоксикацію клітин;
- порушується вибіркова проникливість мембран;
- гальмується мітоз, або протікає він аномально.

За даними французьких дослідників Брегоньє і Трибонто радіочутливість тканин пропорційна здатності її клітин до розмноження.

Диференційовані клітини менш чутливі до опромінення, ніж не диференційовані. Відзначаються високою чутливістю до радіації ембріональні клітини і тканини.

Чим вища інтенсивність обміну в клітині, тканині, організмі, тим вища їх радіочутливість.

Чим краще кровозабезпечення тканини, органу, тим вища їх радіочутливість.

4.4. Вплив опромінення на формені елементи крові

Система крові і кровотворення є органом-мішенню, який найбільш чутливий до дії радіації. У наслідок опромінення тварин змінюється структура їх крові, зокрема кількість і співвідношення лейкоцитів різних форм. Такі зміни спостерігаються вже при порівняно незначних дозах опромінення. Так, доза рентгенівського опромінення в 50 і більше рентген обумовлює зменшення числа лімфоцитів. Це вказує на негативний вплив опромінення на мієлопоез – процес кровотворення (лейкоцитопоез, еритроцитопоез та тромбоцитопоез).

Зменшення або збільшення кількості лейкоцитів обумовлюється змінами гістоструктури і функції кровотворних органів (червоного кісткового мозку, мієлопоезу в печінці і селезінці).

У перші дні після опромінення з'являється багато незрілих лейкоцитів, що обумовлює *лейкопенію*.

Еритроцити вражаються опроміненням значно меншою мірою, ніж лейкоцити.

В опроміненіх тварин зменшується кількість тромбоцитів, тому кров звертається значно повільніше, що обумовлює геморагічний стан. Окрім того, в опроміненіх тканинах утворюється гепарін та гепаріноподібні речовини, що запобігають звертанню крові.

Радіація руйнує білок фератин, який є депо заліза і необхідний для утворення гемоглобіну

4.5. Вплив опромінення на здатність тварин до розмноження та їх спадковість

Опромінення здійснює фізичну, хімічну та біологічну дію на систему органів розмноження тварин. Воно руйнує хромосоми, особливо статеві. Оскільки гени можна представити як крупні органічні молекули, а хромосоми – це сукупність генів, розміщених у певній послідовності, то будь-який фактор, що викликає руйнування чи порушення послідовності розміщення генів у хромосомі буде змінювати і схему послідууючого ділення клітини.

Дія опромінення на хромосоми може здійснюватися у результаті трьох наступних процесів:

1. У результаті реакції речовини хромосом з хімічними продуктами, що утворюються при опроміненні води. Підтвердженням цього може служити те, що якщо помістити бактерії в попередньо опромінену воду, то різко зростає у них частота мутацій.
2. У результаті безпосередньої іонізації речовин хромосом. А за теорією *мішені*, точкової хімічної дії опромінення, спостерігаються незворотні зміни хромосом і складу генів.
3. У результаті розриву хромосом. Для розриву хромосоми достатньо 20 актів іонізації на поперечний розтин (діаметр хромосоми дорівнює приблизно 0,2 мікрон). Розрив хромосом обумовлює утворення хромосомних аномалій-аберацій. М'які рентгенівські промені створюють іони на шляху, довжина якого менше діаметра хромосоми. Короткохвильове рентгенівське випромінювання не створює ділянок з високою щільністю іонізації, вражаючий ефект при цьому створюється якби “хвостом” опромінення, створеного повільними електронами.

При розриві хромосом, вони можуть з'єднуватися, але таким чином, що в одній хромосомі може бути дві, наприклад, проксимальні центріолі, а дистальна відсутня, або навпаки. Можуть спостерігатися й інші комбінації, що порушують поділ клітин і здатність їх до нормального розмноження.

Прийнято вважати, що мутації, головним чином, є шкідливими для виду, тому бажано їх уникати. Найчастіше спостерігаються рецесивні мутації, які в перших поколіннях не проявляються. Це обумовлює жахливість післядії опромінення, навіть у незначних дозах, особливо коли вони діють часто.

У зв'язку зі значною тривалістю життя людини, мутації її спадкових ознак досліджувати і виявляти досить тяжко.

За умови значних доз опромінення у тварин спостерігається стерильність (безпліддя).

Яйцеклітина запліднена після опромінення дозою понад 100 рентген протягом тижня, майже немає шансів на нормальний розвиток.

Опромінення в 100 рентген, отримане батьком, призводить до гибелі приблизно 10% запліднених яйцеклітин. Вони гинуть протягом ембріонального періоду, у сільськогосподарських тварин – до 60 днів після запліднення.

Приблизно в однієї дитини з 200, які народжуються від батьків, які одержали дозу опромінення 100 рентген, спостерігаються ті або інші аномалії. До 50% таких дітей гине в утробі матері (ембріональна смертність), а ті, які народжуються, стають у дорослому стані напівстерильними.

При бомбардуванні Херосімі і Нагасакі загинуло 125000 осіб. З них приблизно 20% загинуло від іонізуючого випромінювання, решта – у результаті вибуху та різних видів механічної дії та травм. У Херосімі і Нагасакі максимум смертності людей від опромінення спостерігався на 3-4-тий тиждень після опромінення. Після вибухів атомних бомб у Херосімі і Нагасакі достовірно зросли розлади менструального процесу, стерильність, народжуваність вродств, патологічних абортів у жінок цих міст. Симптоми ушкоджень від опромінення спостерігались у людей, які перебували на відстані до 1300 м від вибуху. Поверхневі ефекти і дія радіації були значно слабші, коли люди знаходились від центру вибуху на відстані більше 1300 м. Серед тих людей, які знаходились до центру вибуху менше 1000 м, вижили лише одиниці. Але і у них спостерігались лейкопенія, анемія, геморагічний стан та інші захворювання. Ушкодження генетичної програми цих людей від радіації проявляються до цього часу.

Іонізуюче опромінення вражає серцево-судинну систему (особливо кров), репродуктивну, імунну та систему органів травлення (особливо чутлива до радіації кишкова оболонка). Навіть м'язи чутливі до радіації, вони вражаються на ранньому етапі опромінення.

4.6. Дія опромінення на тварин

Ефект опромінення є результатом не тільки первинного ураження клітин, але і наступних процесів. Значна частина первинних уражень у клітині виникає у вигляді потенційних ефектів, які можуть реалізуватися у випадку відсутності процесів відновлення.

Під дією іонізуючої радіації вода протоплазми клітини, її іони вступають у взаємодію з киснем тканин, створюючи пероксидні з'єднання, що самі є сильними окислювачами і обумовлюють зміни і загибель клітин, утворення вільних радикалів, що порушує обмінні процеси, пригнічує дію ферментних та інших систем.

Мутагенну дію іонізуючого випромінювання вперше виявили російські вчені Р.А. Надсон і Р.С. Філіпов у 1925 році в досліджах на дріжджах і підтверджене у 1927 році Р. Меллером на дрозофілі.

Дослідженнями науковців Київського інституту нейрохірургії показана, що радіація навіть у малих дозах уражає нейрони. У значній

кількослі»ліквідаторів» Чорнобільської аварії спостерігається «післярадіаційна енцефлопатія». Опромінення мозку дитини за умови променевої терапії може викликати в його властивостях, призвести до втрати пам'яті. Дуже чутливий до опромінення мозок плоду, особливо коли організм матері піддається опроміненню між восьмою і п'ятнадцятою неділями вагітності.

Реакція різних тканин організму людини і тварин на радіацію не однакова. Організм легше переносить серію дрібних доз, ніж таку сумарну дозу одночасно.

Нирки витримують сумарну дозу опромінення біля 23 Гр., отриману протягом тижня. Печінка витримує дозу опромінення протягом місяця до 40 Гр., а сечевий міхур - до 55 Гр., хрящова тканина – до 70 Гр. Значно більш чутливі до опромінення легені. Дуже чутливі до опромінення кровоносні судини.

Канцерогенна дія іонізуючого опромінення, найімовірніше, є ефектом впливу на генетичні структури клітин, спричинює мутагенну активність і, як наслідок – мутагенез соматичних клітин. Неіснує порогової дози, за якою відсутній ризик захворіти раком. Саме соматичний мутагенез ембріональних клітин одна з причин розвитку вроджених патологій плоду. Коновалов В.С. (2007) повідомляє результати популяційно-генетичного моніторингу в стадах на забруднених територіях Житомирської області. Виявлені патології дослідники розподіляли на поодинокі (унікальні) і поширені (серійні). Унікальні такі: народження восьминогого лошати, подвоєність лицевої частини у теляти; серійні – гіпотріхоз (народження телят без волосяного покриву), відсутність кінцівок, укорочення хребта, атрезія ануса, мозкова грижа укорочення нижньої щелепи, розщеплення черевної порожнини. У поросят спостерігали не повне розділення голови у однойцевих близнюків, або однойцеві близнюки зрослися між собою передніми частини тіла вздовж вентральної поверхності до місця положення пупка.

Рак найчастіше ушкоджує тканини, які піддаються опроміненню. Отже, рак – це результат прямої (безпосередньої, стохастичного ефекту) дії опромінення. Різноманітні форми раку, що виникають при опроміненні є результатом особливостей тих тканин, які піддаються опроміненню. При опроміненні, наприклад, всього тіла розвивається лімфома, рак яєчників, легень.

Порівняно легко за умов опромінення виникає рак шкіри. Часто він починає розвиватись з появи пігментованих плям, бородавок, що знаходяться на опромінених ділянках. Часто рак шкіри розвивається в області шиї при рентгенотерапії щитовидної залози. Розвивається рак і в області тазу (часто у вигляді пухлин, що нагадують жировики).

Частіше рак розвивається за умов багаторазового, навіть незначними дозами, опроміненні, ніж при разовому, навіть значними дозами.

Гама-опромінення, порівняно з альфа- та бета-, значно частіше викликає рак як на поверхні, так і у середині тіла. Так діють і рентгенівські промені. Бета-

опромінення частіше обумовлює появу раку шкіри. Інкорпоровані бета-частинки обумовлюють появу раку ободочної кишки.

Найбільш поширеними видами раку, обумовленого дією радіації, виявились рак молочної залози і рак щитовидної залози. Якщо опромінюється людина віком старше 35 років, то велика вірогідність прояву раку легень. людини

Латентний період від часу опромінення до клінічного прояву раку може становити від декількох місяців до декількох років. За даними японських дослідників у людини мінімальний латентний період раку від моменту опромінення в середньому дорівнює до трьох років. Летальні наслідки при лейкозах наступають у середньому через 10 років після опромінення. Захворюваність лейкемією серед лікарів у два рази вища, ніж серед населення, а серед рентгенологів – у 8 разів вища, ніж серед інших лікарів. Ризик захворювання раком зростає прямо пропорційно зростанню дози опромінення. Хоча до цієї інформації можуть бути зауваження в тому відношенні, що в усіх цих випадках немає чіткої “контрольної” групи.

Спостерігається скорочення життя людей після опромінення. У батьків, які піддавалися опроміненню, більша вірогідність народити дитини із синдромом Дауна.

Тяжкість радіаційного ураження організму залежить від стану організму до опромінення, його індивідуальних особливостей. Перевтома, голодування, різні інфекційні та неінфекційні хвороби, травми, опіки підвищують чутливість організму до впливу проникаючої радіації.

За даними наукового комітету по дії іонізуючої радіації, середня ефективна еквівалентна доза зовнішнього опромінення, що людина одержує протягом року від земних природних джерел радіації, становить до 350 мЗв. Людина і тварини одержують зовнішнє і внутрішнє (інкорпороване) опромінення. Внутрішнє опромінення в середньому становить 2/3 ефективної еквівалентної дози, яку вони одержують від природних джерел радіації.

4.7. Класифікація і клініка променевиx хвороб

Основний фактор, що обумовлює променеву хворобу є гама-випромінювання. Променеві хвороби умовно можна поділити на хронічні і гострі. Характерною ознакою хронічної променевої хвороби є зміна складу крові, деякі симптоми з боку нервової системи, місцеві ураження шкіри, ураження кришталика ока, пневмосклероз, зниження імунореактивності організму. До цієї групи можна відносити і віддалені наслідки опромінення – лейкози, злоякісні новоутворення, раннє старіння тощо.

Первинні ознаки променевиx хвороб проявляються через 2-3 години після опромінення. До первинних ознак гостриx променевиx хвороб відносять наступне: загальна слабкість, недомогання, головні болі, запаморочення, підвищена збудливість центральної нервової системи, безсоння. Потім

втрачається апетит, з'являється нудота, блювання, шлунково-кишкові коліки і розлад, кровотеча і втрата волосся. Може спостерігатися втрата маси тіла. Можливі функціональні розлади серцево-судинної системи, підвищення частоти пульсу, зниження кров'яного тиску, порушення діяльності нирок, підвищення температури, в крові різко знижується вміст лейкоцитів (до 500-400 в 1 мм³, порушується дихання.

Гостра форма променевої хвороби виникає за умови опромінення великими дозами за короткий проміжок часу. Хронічна форма променевої хвороби розвивається в наслідок тривалого опромінення дозами, які перевищують допустимі дози. Віддаленими наслідками променевого ураження можуть бути катаракти, злоякісні пухлини.

За ступенем важкості променевої хвороби ділять на чотири наступні групи:

1. Легка група. Виникає при дозі опромінення до 100-200 рад. Прихований (латентний) період триває до трьох тижнів, після чого з'являється загальна слабкість, нудота, запоморочення, підвищення температури тіла, в крові зменшується вміст білих кров'яних тілець. Після одужання працездатність, як правило зберігається.
2. Середня група. Виникає при сумарній дозі опромінення 200-400 рад. Протягом перших 2-3 діб проявляється первинна реакція організму – нудота, блювання. Потім настає прихований період (біля 8 діб) після чого ознаки захворювання проявляються яскравіше. Одужання, за умови активного лікування, настає через 2-3 місяці.
3. Важка група. Виникає при дозі опромінення 400-600 рад. Первина реакція організму різко виражена. Прихований період триває декілька годин. Хвороба протікає інтенсивно і тяжко. Працездатність втрачається через декілька хвилин. У сприятливих випадках одужання може наступити через 3-6 місяців або через декілька років.
4. Надто важка група. Виникає при дозах опромінення понад 600 рад. При надтяжкій формі променевої хвороби скритий (латентний) період відсутній. У більшості випадків закінчується летально протягом перших 10 днів.

Променеві ушкодження можна ділити на летальні і сублетальні. У свою чергу сублетальні ушкодження ділять на гострі променеві хвороби та хронічні. Хронічні променеві хвороби частіше розвиваються за умови тривалого опромінення. Гострі променеві хвороби розвиваються навіть за умови короткочасного, але потужного опромінення.

Променеві хвороби розвиваються в чотири наступні періоди:

1. Період первинних реакцій. Він триває 1-3 доби і проявляється збудливістю, судомами м'язів та їх подьоргуванням, втратою апетиту, підвищенням температура тіла та частоти пульсу. У свиней часто може спостерігатись блювота.
2. Латентний період, що може тривати з 3 до 8 доби. Характеризується тим, що ознаки захворювання першого періоду якби зникають, хоча може появиться

кровотеча через пряму кишку, через рот; підвищується частота дихання, може проявлятися пригнічений стан тварин.

3. Період розпаду променевої хвороби. Може тривати 8-10 діб. Характеризується посиленням кровотечі (через ніс, ректальної, шлунково-кишкові крововиливи тощо), на шкірі pojawiaються різної сили багрянні плями, підвищується температура тіла, дихання тяжке, спостерігаються набряки шкіри та ніг, порушується координація рухів, проявляється загальна слабкість, відсутній апетит, спрага, розвиваються запалення легень або плеврит.

4. Період репарації. Може тривати декілька років.

Однією з особливостей променевої хвороби є те, що досить віддалений час (у людини через 10-20 років) після опромінення в організмі, який “видужав” і зовні здається повністю відновився від променевого ураження знову з’являються різноманітні зміни, які називають *віддаленими наслідками опромінення*. До них відносять, перш за все, скорочення тривалості життя, лейкози, злоякісні пухлини, катаракти, порушення ендокринної рівноваги, нефросклерози, зниження репродуктивної функції (аж до стерильності) та ембріонального розвитку тощо. Одже, неповноцінність пострадіаційного відновлення опроміненого організму призводить їх до більшої чутливості до різних захворювань, неблагоприємному впливу фізіологічного перевантаження та інших зовнішніх агентів. Внаслідок радіаційного ураження людина спочатку втрачає фізичну працездатність, а потім – і інтелектуальну. Віддаленні наслідки опромінення пояснюють так:

ефекти, що обумовлюють загибель клітин, здійснюють ураження, які повністю не відновлюються;

консервується вплив на тканини, які мають низький рівень фізіологічної регенерації і їх ураження проявляється через значний час;

нелетальні спадкові зміни соматичних клітин.

На розвиток віддалених наслідків опромінення може здійснювати вплив порушення нейроендокринної регуляції, що обумовлює зниження ряду адаптивних можливостей організму.

Оскільки, за умов опромінення тривалість життя скорочується, тобто процеси, що спостерігаються за природніх умов, розвиваються в більш молодому віці, то виділяють фактори радіаційного старіння організму. Для пояснення цього висувають наступні гіпотези:

виводиться з ладу запрограмований механізм еволюційного відмирання організму;

невідома (стимулююча) доза малих доз радіації на процеси життєдіяльності; подавлення функції розмноження, репарації, регенерації тощо.

При світловому ураженні спостерігаються опіки шкіри, слизових оболонок, очей. Розрізняють чотири ступені рпків:

- I ступінь – болючі почервоніння шкіри, виздоровлення спостерігається у 100% уражених;

- II ступінь утворення пухирців на шкірі, летальні наслідки спостерігаються у 5%;
- III ступінь – омертвіння шкіри, летальні наслідки спостерігаються у 20-30%;
- IV ступінь – обуглення шкіри і тканин, які знаходяться більш глибоко під шкірою, часто уражений помирає протягом 10 діб після такого опіку.

Лімфома – онкологічне захворювання лімфатичної тканини. Перші ознаки ураження: збільшення лімфатичних вузлів (шийних, пахових, підм'язевих). Симптоми: шкіряне свербіння, збільшення лімфовузлів, підвищення температури тіла до 38°C, потіння вночі, швидка втрата маси тіла. Хвороба протікає в чотири стадії: 1. залучається до патологічного процесу одна область лімфатичних вузлів; 2. залучається до патологічного процесу дві і більше області з однієї сторони діафрагми; 3. ураження охоплює лімфовузли з обох сторін діафрагми; 4. уражаються лімфовузли на серці, печінці, нирках, кишках і уражається кістковий мозок.

У великої рогатої худоби при патологоанатомічному розтині трупів тварин, які загинули від опромінення, спостерігаються некрози і значні крововиливи в міокарді, в стінках шлунково-кишкового тракту, селезінці, легенях, печінці, жовчному і сечовому міхурах, брушині, плеврі, підшкірній адвентиції та інших органах. Іноді проявляються значні крововиливи в просвіт тонкого і товстого кишечника; набряк легень; катаральна, крупозна, а іноді і геморагічна пневмонія; виразки слизових оболонок верхніх дихальних шляхів.

Найбільш характерними паталогоморфологічними змінами є геморагічний діатез, пневмонія, атрофія лімфоїдної тканини і кровотворного кісткового мозку, виразки слизової оболонки шлунково-кишкового тракту. З посівів уражених ділянок і із паренхіматозних органів виростають багато чисельні колонії бактерій.

У коней при патологоанатомічному розтині відмічається добре виражене окоченіння, механічні ураження шері: синяки, набряки, рани. Виражені блідність і крововиливи на слизових оболонках. Виявляється геморагічний діатез. Кров звернулася. Серце, як правило, буває розширене, міокард набряклий і має колір вареного м'яса. В усіх випадках реєструється набряк легень і геморагічна пневмонія. Селезінка має зменшені розміри, її капсула зморшкувата, має яскраві точкові крововиливи. Печінка буває набряклою, кровонаповнена, з крововиливами. Нирки кровонаповнені, межа між шарами майже непомітні; виражені крововиливи. Лімфатичні вузли звільшені, набряклі, на розтині мають густий червоний колір. Шлунково-кишковий тракт слабо наповнений рідким червонуватим вмістом; у стінках крововиливи різних розмірів.

У свиней при патологоанатомічному розтині трупів виявляють виражене окоченіння. В шкірі і підшкірній клітковині мають багато чисельні крововиливи синьо-багрового кольору різних розмірів і конфігурації. Кров, як правило, звернута. В органах грудної клітки багато чисельні точкові, плямисті, волосаті крововиливи. Лімфовузли завжди збільшені, набряклі, кровонаповнені,

темно-червоного кольору. Верхні дихальні шляхи заповнені пінистою рожевою масою. Легені набряклі, мармурового кольору, з ділянками від рожевого до темно-червоного кольору. Відмічається геморагічна бронхопневмонія. Серце розширене, в міокарді завжди є крововиливи. Селезінка зменшених розмірів, капсула зморщена. Печінка часто буває збільшених розмірів, набрякла, її поверхність нерівномірною кольору. Жовчний міхур розтягнутий, в стінці його крововиливи. Жовч густа, в'язка, темно-зеленого кольору. Нирки частіше набряклі з слабо вираженою межею між корковим і мозковим шарами. У паренхімі нирок і стінці сечового міхура спостерігаються крововиливи. Шлунково-кишковий тракт має мало кормової маси і хімуса. Іноді в товстому відділі кишечника хімус накопичується і загустіває. В стінках травного тракту крововиливи. Лімфовузли збільшені, набряклі, темно-червоного кольору.

4.8. Розвиток толерантності при опроміненні

Толерантность (лат. *tolerantia* – терпіння), 1) Імунологічний стан організму, за умов якого він нездатний синтезувати антитіла у відповідь на введення певних антигенів при збереженні імунної реактивності до інших антигенів. Проблема толерантності дуже важлива при трансплантації тканин і органів. 2) Толерантність - це здатність організму переносити неблагоприємний вплив того чи іншого фактору середовища, наприклад, дії радіації.

Механізм формування толерантності до опромінення вивчений недостатньо. Хоча, певною мірою, елементи толерантності проявляються в тому, наприклад, що при багаторазовому опроміненні з достатніми проміжками часу тварини зберігають життя, тоді як при такій разовій дозі вони гинуть. Сумарний ефект від опромінення незначними дозами приблизно в три рази менший, ніж при одноразовому опроміненні. Очевидно, тут певною мірою проявляється радіадаптація організму після його опромінення малими дозами. За цих умов, мабуть, активізуються процеси репарації ушкоджених ДНК, синтез білків, що підвищують радіостійкість, трансформується проникливість клітинних мембран, зростає темп поділу клітин тощо. А великі дози опромінення супроводжуються незворотними процесами, некротичною загибелю клітин, руйнацією структурних і функціональних елементів організму. Радіадаптація це приклад системної відповіді організму на опромінення.

Більшість біологів вважає, що генетичні ефекти від опромінення не відновлюються. Від фізичної та хімічної дії опромінення толерантність малоімовірна.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте чутливість тварин до радіації.
2. Розподіліть представників тваринного світу за радіочутливістю
3. Вкажіть фізичні, хімічні, біологічні фактори, що впливають на радіочутливість живих організмів.
4. Часткове опромінення тварин і опромінення всього їх тіла.
5. Охарактеризуйте тривалу і короткочасну, безперервну і фракціоновану дію радіації
6. Іонізуюче uszkodження окремих біологічних систем.
7. Опишіть вплив опромінення на формені елементи крові.
8. Охарактеризуйте вплив опромінення на здатність тварин до розмноження та на їх спадковість.
9. Обґрунтуйте канцерогенну дію опромінення.
10. Опишіть клініку променевої хвороби
11. Зробіть класифікацію променевої хвороби.
12. Охарактеризуйте поняття толерантності та її прояву до опромінення.
13. Радіочутливість живих систем це: - перехід живих систем до стану анабіозу;
 - фізична, хімічна, біологічна відповідь живих систем на радіацію;
 - зміна морфології живих клітин.

ПЕРВИННЕ ЗАБРУДНЕННЯ І ПЕРЕРОСПОДІЛ РАДІОНУКЛІДІВ У ПРИРОДІ

5.1. Міграція радіонуклідів у атмосфері. 5.2. Радіонукліди у водоймах. 5.3. Радіонукліди у ґрунті. 5.4. Радіонукліди в лісі. 5.5. Радіаційне забруднення тварин та їх вплив на міграцію радіонуклідів 5.6. Групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів.

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

5.1. Міграція радіонуклідів у атмосфері

Радіоактивні речовини мігрують різними шляхами. Це основні фактори, що обумовлюють перерозподіл первинного радіоактивного забруднення територій. Основними джерелами радіоактивного забруднення навколишнього середовища є:

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

Звичайно ці джерела нерівномірні за потужністю забруднення, ізотопним і фазовим станом забруднювачів. Наприклад, космічне випромінювання – це іонізуюче випромінювання, що безперервно і вічно надходить на поверхню Землі зі світового простору. У результаті взаємодії первинного космічного випромінювання (нейтронів, фотонів) з ядрами атомів кисню, азоту, аргону атмосфери утворюються космогенні радіонукліди, що потім надходять на земну поверхню з атмосферними опадами. Ця група представлена 20 радіонуклідами з періодами напіврозпаду від 32 хвилин до $7,4 \cdot 10^5$ років. Найбільш значні у радіоекологічному відношенні з них є наступні: ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{24}Na .

Особливо велика кількість радіоактивних речовин виноситься в атмосферу при випробуваннях атомної та термоядерної зброї у повітрі. Це перше за значимістю джерело радіаційного забруднення навколишнього середовища. При ядерному вибусі утворюється біля 250 ізотопів 35 елементів як безпосередньо “осколків” поділу ядер важких елементів, так і продуктів їх розпаду з періодами напіврозпаду від кількох секунд до мільйонів років. Більшість цих радіонуклідів здійснюють одночасно бета- і гама-випромінювання, деякі є джерелом бета (^{90}Sr) або гама-випромінювання (^{147}Br , ^{24}Na). При наземних і надземних випробуваннях радіоактивні частинки піднімаються на значну висоту, утворюючи своєрідні течії, що рухаються над Землею з швидкістю до 200 км/год. Радіоактивна хмара, що утворюється при вибусі ядерної бомби, може за два тижні обійти всю Землю. Небезпека для людей виникає тоді, коли радіоактивні частинки з атмосфери з опадами випадають на землю, а коли, де і в якій кількості вони випадають після вибуху, точно передбачити неможливо. Частина радіоактивних продуктів випадає недалеко від місця випробування, певна частина їх затримується в тропосфері, підхоплюється вітром і переноситься на величезні відстані. Знаходячись у повітрі біля місяця, радіоактивні речовини під час цих переміщень поступово випадають на землю. Більша частина радіоактивних продуктів викидається в стратосферу на висоту понад 10-50 км. Там вони залишаються протягом

багатьох місяців, повільно опускаючись і розсіюючись по всій поверхності Землі.

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

У результаті реакції активації в районі вибуху з'являється додаткове джерело радіоактивного забруднення.

На сьогодні нема жодного продукту біосфери, де б не були присутні радіонукліди “бомбового” походження. Середня ефективна еквівалентна доза опромінення, зумовлена радіонуклідами ядерних випробувань становить біля 20-25 нкЗв за рік.

Значні надходження радіонуклідів до навколишнього середовища становлять від використання кам'яного вугілля на паливо. Річна потреба вугілля у світі становить кілька мільярдів тонн, із яких 70% спалюється на електростанціях, 20% - у коксохімічному виробництві і 10% - використовується для опалення житла.

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

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

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

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

Атомна енергетика нині розвивається на основі реакторів на теплових і швидких нейтронах. Паливом у реакторах на теплових нейтронах є природній уран з вмістом 0,7% ізотопу ^{235}U і 99,3% ^{238}U , або природній уран, збагачений ізотопом ^{235}U до 2,8-4,4%. Уран перетворюють у порошок двоокису UO_2 , а потім спікають у паливні таблетки.

При роботі ядерних енергетичних установок радіонукліди утворюються в результаті поділу ядер палива і активації нейтронами матеріалів в активній зоні. Їх вміст зумовлюється часом експлуатації і часом, що минув з моменту

зупинення реактора. Надто активні відходи діляться на три категорії: високоактивні, середньоактивні і низькоактивні.

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

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

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

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

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

Отже, шляхи міграції можна розділити на наступні:

- аеральне випадання з атмосфери (сухе і вологе);
- водні міграції;
- поверхневими та внутрішньогрунтовими стоками;
- у процесі повторного перерозподілу внаслідок руху повітря;
- антропогенний;
- життєдіяльність різних живих систем.

5.2. Міграція радіонукліди у водоймах

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

У воді підземних джерел, що використовується для пиття людиною і тваринами, допускається вміст радіонуклідів тільки природного походження і в

кількості, що не перевищує максимально допустимі норми для відкритих водойм.

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

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

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

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

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

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

У ґрунті дна водойм концентрація радіонуклідів у десятки разів вища, ніж у воді, внаслідок їх адсорбції на поверхні мінеральних і органічних речовин. Тому гідробіонти, які ведуть бентосний (донний) або прибентосний спосіб життя, уражаються від радіаційного забруднення більшою мірою, ніж пелагічні (ті, які живуть у товщі води).

У залежності від інтенсивності опромінення радіація може здійснювати на гідробіонтів стимулюючий, пригнічуючий, ушкоджуючий або летальний вплив.

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

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

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

- для вторинноводних ссавців – 2...5 Гр.

Спостерігається певною мірою вибірковість накопичення окремих радіонуклідів різними видами гідробіонтів. Наприклад, цезій найбільш енергійно накопичується в бурих і червоних водоростях, стронцій-90 – у радіоляріях та кісткових риб, тритій – у ракоподібних, ікрі риб, цезій-114 - в актиніях тощо.

Спостерігається характерна локалізація окремих радіонуклідів у тих чи інших тканинах. Так, стронцій-90 накопичується до 90% у скелеті, цезій-137 – у м'язах та м'яких тканинах, кобальт-60 – у печинці і нирках тощо.

5.3. Міграція радіонуклідів у ґрунті

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

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

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

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

Міграція радіонуклідів у ґрунті може здійснюватися поверхневими та ґрунтовими стоками води, процесами дефляції (перенесення ґрунтових мас водою), вітрової ерозії (перенесення ґрунтових мас вітром), тваринами. Певне місце у цьому має і антропогенний фактор, зокрема, сільськогосподарська, транспортна, будівнича, вугільно- та руднодобувна діяльність тощо.

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

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

Таблиця 5.1.

Критерії оцінки схильності ґрунту до вітрової ерозії у відповідності з характером рослинного покриву

Фактор розвитку	Характер рослинного покриву	Бал оцінки схильності
Рослинність	Ліси і луки	0,00
	Багаторічні трави	0,10
	Зернові ярі	0,45
	Просапні культури	0,75
	Пари	1,00

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

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

5.4. Радіонукліди в лісі

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

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

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

Накопичення радіонуклідів залежить також від фітомаси. Так, завжди радіонуклідів більше в наземній частині рослини, а серед наземної – в ягодах,

плодах. Щодо тварин, то їх найбільше в шерсті, шкірі, червоному кістковому мозку, у паренхімі залоз внутрішньої секреції.

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

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

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

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

Біоіндикатором забруднення рослин є реакція на них бджіл.

5.5. Радіаційне забруднення тварин та їх вплив на міграцію радіонуклідів

Значну роль на перерозподіл радіонуклідів здійснюють мікроорганізми, безхребетні та хребетні тварини. Вони накопичують (акумуляують) радіонукліди в своєму організмі, а потім пересуваючись переносять їх в ґрунті як горизонтально, так і вертикально. Наприклад, полівка протягом року змішує всередині ґрунтового горизонту і виносить на поверхню з площі 1га близько 5 тонн ґрунту. Окрім того, мережа нір являє собою своєрідну дренажну систему, що сприяє переносу і акумуляції розчинених і суспензійних радіоактивних частинок, збільшує швидкість перенесення радіонуклідів у глиб ґрунту.

Радіаційне забруднення диких звірів і птахів визначається таким забрудненням ґрунту, води і рослин.

Безхребетні тварини залучають до біологічного кругообігу радіонуклідів у 3-4 рази більше, ніж хребетні. Однак, їх роль у загальному кругообігу радіонуклідів порівняно з рослинністю обмежена. Безхребетні тварини залучають до біологічного кругообігу в 10^6 разів менше радіонуклідів, ніж зелені рослини.

До організму тварин радіоактивні речовини потрапляють, головним чином, із забрудненого рослинного корму, грудочками ґрунту, з водою. Ці радіонукліди у певній кількості акумулюються зоофауною. Значна їх частина разом з екскрементами повертається у ґрунт.

Дикі тварини, перебуваючи в аналогічних умовах зовнішнього середовища мають різний рівень забруднення, наприклад, ^{137}Sr . Концентрація радіонуклідів у внутрішніх органах однієї і тієї ж тварини теж значно коливається. На це впливають відмінності їх фізіологічних функцій.

Таблиця 5.2
Результати моніторингу рівня забруднення мисливської дичини ^{137}Sr

Вид тварин	Час проведення обстежень	Частота зразків, що перевищує ДР-97, %	Перевищення ДР-97, разів	
			мінімум	максимум
Крижень	1987-1997	48	1,3	5,6
Лось	1989-1992	90	1,4	19,0
Козуля	1987-1995	100	2,4	463,0
Дикий кабан	1988-1995	79	1,8	69,0

Спостерігаються коливання рівня радіаційного забруднення дичини за порами року. Так, восени воно вірогідно збільшується.

Таблиця 5.3
Концентрація $^{134,137}\text{Cs}$ у внутрішніх органах диких тварин

Внутрішні органи і тканини	Питома активність, Бк/кг	
	дикий кабан	козуля
М'язи	6290	11840
Селезінка	4070	-
Печінка	2590	3589
Нирки	5920	-
Легені	4810	7400
Серце	3700	3108
Кров	1702	2109
Язик	4440	11100

Кістковий мозок	37	37
-----------------	----	----

5.6. Групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів

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

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

1. дуже сильного накопичення – ягоди черниці, чага, спори плауна булавовидного;
2. сильного накопичення – лист брусниці, качани багна болотного, трава чистотілу звичайного, бруньки сосни звичайної;
3. помірного накопичення – трава фіалки триколірної, звіробою звичайного, суцвіття конвалії звичайної, пижмо звичайної, листя мучниці, кора крушини ламкої;
4. слабкого накопичення – кропива дводомна, материнка звичайна, чебрець звичайний, спориш, кора дуба, суцвіття цмину піщаного;
5. дуже слабкого накопичення – кореневища татарського зілля, валеріана лікарська, шишкоягоди ялівцю звичайного, топінамбур, дайкон.

Дайкон – це рослина з Японії, але добре росте в природно-кліматичних умовах України. Нині виведено понад 400 сортів дайкону. Найкращі сорти Сарукадзима, Шогонн, М'ясіге, Дубинушка та інші. Сарукадзима здатний формувати коренеплід до 40 кг. Він не всмоктує з ґрунту радіонуклідів, солей важких металів, але активно виводить їх з організму. Дайкон, так як і редька, редиска, хрін, очищає пчінку і нирки. У коренеплодах дайкона відсутні гірчичні олії. Варто поширювати цю рослину в Україні.

Контрольні питання

1. Вкажіть фактори, що обумовлюють міграція радіонуклідів у атмосфері.
2. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у водоймах.
3. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у ґрунті.
4. Охарактеризуйте міграцію радіонуклідів у лісі.
5. Визначіть місце тварин у переросподілі радіаційного забруднення та їх вплив на міграцію радіонуклідів
6. Вкажіть групи лікарських рослин за інтенсивністю накопичення радіонуклідів
7. Міграція радіонуклідів це : - рух радіонуцлідів в організмі за рахунок міглогового війчастого епітел;

- процес вторинного перерозподілення радіонуклідів за рахунок фізичних та біологічних факторів;
- рух радіонуклідів по кровоносній системі тваринного організму.

6. ОСНОВИ РАДІОМЕТРІЇ ТА ПРАВИЛА ВІДБОРУ ПРОБ

- 6.1. Суть і задачі радіометрії. 6.2. Строки і норми відбору проб.*
- 6.3. Правила відбору проб води та інших рідин. 6.4. Відбір проб ґрунту.*
- 6.5. Відбір проб рослин. 6.6. Відбір проб зерна. 6.7. Відбір проб коренебульбоплодів. 6.8. Відбір проб зеленої маси сільськогосподарських культур. 6.9. Відбір проб сіна і соломи. 6.10. Відбір проб молока і молочних продуктів. 6.11. Відбір проб м'яса і субпродуктів. 6.12. Відбір проб риби. 6.13. Відбір проб яєць. 6.14. Відбір проб меду.*

6.1. Суть і задачі радіометрії

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, калометричні.

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

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

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

Іонізаційний метод використовує явище іонізації атомів речовин під впливом іонізуючого випромінювання, внаслідок чого електрично нейтральні речовини розпадаються і утворюють іони. Цей метод найчастіше використовують у дозиметричних приладах. Основними елементами цих приладів є приймальний пристрій, підсилювач іонізуючого струму, вимірювальний прилад, перетворювач струму, джерело живлення. Мей 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 газові 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.

Калометричний 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 дія 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 мікродіпазонні 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.

6.2. Терміни і норми відбору проб

Визначення радіаційного забруднення здійснюється за наступною послідовністю:

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

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

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

У сучасних умовах необхідно мати ефективні методи реєстрації і контролю радіоактивного забруднення води, ґрунту, кормів для тварин, продуктів харчування для людини і в цілому довкілля.

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

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

6.3. Правила відбору проб води та інших рідин

Пробу води необхідно брати так, щоб вона відповідала загальній масі досліджуваної води. Посуд для відбору проб має бути чисти (найкраще зі скла).

У текучих вобоймах пробу слід брати вище того місця, де знаходиться джерело забруднення, проти нього і нижче по течії.

З колодязів воду беруть 2 рази – ранком до початку забору, і ввечері після забору. При цьому слід використовувати **батометри** – прибори, що дозволяють відбирати пробу з глибини 1 м і більше.

Проби води з річок відбирають з декількох ділянок, обов'язково біля правого, лівого берегів та посередині на глибині 0,5 м.

Питєву воду відбирають з усіх джерел. Об'єм проби не повинен бути меншим 1 л. Перед заповненням посуду, необхідно її сполоснути водою, що відбирається для аналізу.

Таких же правил дотримуються при відборі проб інших рідин.

За умови невисокого радіоактивного забруднення води, її гігієнічна оцінка здійснюється на підставі порівняння з природнім радіоактивним фоном. А при високих концентраціях радіонуклідів у воді сумарна бета- і гама-активність порівнюється з максимально допустимими нормами. Водойма забруднена декількома радіонуклідами, то необхідно провести радіохімічний аналіз і одержані результати досліджень щодо кожного ізотопу порівняти з середньорічними допустимими концентраціями, передбаченими нормами радіаційної безпеки. Якщо

Способи поліпшення якості води є такі: відстоювання протягом 2-8 годин, фільтрування, коагуляція (добавляння до води коагулянтів, наприклад, сірчаноокислий алюміній, що осаджують фізичні і хімічні забруднювачі і підвищують прозорість води, доза коагулянта залежить від рН води), кип'ячіння. Для знезараження води застосовують хлорування, озонування, кип'ячіння.

6.4. Відбір проб ґрунту

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

Таблиця 6.1.

Строки і норми відбору проб сільськогосподарських об'єктів

Назва об'єкту	Строки і дата відбору проби	Маса проби	
		для визначення сумарної бета-активності	для радіохімічного аналізу
Ґрунт	Весна, літо осінь	150...300 г	1, 5...2 кг

Трава	Весна, літо , осінь	150...300 г	4...5 кг
Зерно	Літо	100...200 г	2...3 кг
Грубі корми	Осінь	100...200 г	2...3 кг
Силос, сінаж	При згодовуванні	100...200 г	4...5 кг
Овочі	По мірі надходження	100...200 г	3...6 кг
Коренебульбо плоди	Осінь	150..300 г	3...6 кг
Концентрован і корми	Осінь	100...200 г	2...3 кг
Молоко	Раз протягом місяця	50...100 мл	5...6 л
М'ясо	Весна, літо, осінь, зима	100...200 г	2...3 кг
Кістки	Теж	100...200 г	0,5 кг
Риба свіжа	По мірі надходження	100...200 г	3 кг
Вода	Весна, літо, осінь	0,5 л	20 л
Птахи	По мірі надходження	100..200 г	1 тушка
Яйця	Теж	3...6 шт.	10 шт
Мед	Теж	150...300 г	0,5...1,0 кг
Вовна	Теж	20...40 г	0,2...0,5 кг
Лісова підстилка	По мірі надходження	100...200 г	2...3 кг
Кора	Під час рубки	100...200 г	2...3 кг
Ягоди,фрукти	По мірі надходження	100...200 г	3...6 кг
Гриби свіжі	Теж теж	100...200 г	4...5 кг
Гриби сушені		50...100 г	2...3 кг

6.5. Відбір проб рослин

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

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

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

6.6. Відбір проб зерна

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

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

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

6.7. Відбір проб коренебульбоплодів

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

6.8. Відбір проб трави і зеленої маси сільськогосподарських культур

Траву з луків, сінокосів і зелену масу сільськогосподарських культур відбирають з 8...10 ділянок площею 1...2 м², що знаходяться приблизно по діагоналі поля. Траву зрізають на висоті 3...5 см від землі порціями по 400...500 г. Потім готують об'єднану середню пробу масою 1,5...2,0 кг.

6.9. Відбір проб сіна і соломи

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

6.10. Відбір проб молока і молочних продуктів

Відбір проб здійснюють на фермах, молочних пунктах, молокозаводах, холодокомбінатах і ринках. Пробу з рідких продуктів (молоко, вершки, сметана, ряжанка, кефір) з невеликих ємкостей відбирають після ретельного

перемішування, з великих ємкостей – з різної глибини ємкості кружкою з довгою ручкою або спеціальним пробовідбірником. Величина середньої проби повина становити 0,2... 1,0 л і залежить від маси всієї партії продукції.

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

6.11. Відбір проб м'яса та субпродуктів

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

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

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

Проби м'яса птахів відбирають $\frac{1}{4}$ тушки (кури, індики, гуси, качки), а якщо циплята – то цілими тушками.

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

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

6.12. Відбір проб риби

Відбір проб риби проводять на рибо-, холодокомбінатах, рибгосподарствах і ринках. Дрібну рибу відбирають цілою, з крупної риби відбирають тільки середню частину. Маса середньої проби повина становити 0,3... 0,5 кг. Кількість проб визначається розмірами партії.

6.13. Відбір проб яєць

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

6.14. Відбір проб натурального меду

Відбір проб меду проводять на пасиках, складах і ринках. Забор проби здійснюється трубчастим алюмінієвим пробовідбірником якщо мед рідкий, або щупом для масла якщо мед густий. Проба відбирається з різних шарів меду. Маса проби повина становити 150... 300 г.

Для дослідження сотового меду з соторамки вирізають ділянку площею не менше 25 см².

Всі прилади радіаційного контролю використовують строго за інструкцією.

Радіометричний контроль за речами широкого обіходу

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

Вимірювання радіації проводять на відстані 1 – 4 см від грошей. Якщо гроші в мішках, то вимірювання здійснюють на відстані 10-2- см від них.

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

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

Лабораторні роботи з дозиметричного і радіометричного контролю

Мета дозиметричного і радіометричного контролю - оцінка потужності дози γ -фону при роботі з джерелами опромінення, а також визначення поверхневого забруднення різних об'єктів і обладнання РР.

Лабораторна робота № 1

Визначення за допомогою рентгенометра СРП-68-01 або СРП-88
потужності дози γ -випромінення, створеного еталонним джерелом ^{137}Cs через
захисні матеріали

Порядок виконання роботи: 1) підготувати рентгенометри до роботи згідно з інструкцією; 2) встановити зонд рентгенометра в свинцевий «будиночок»; 3) помістити у свинцевий «будиночок» еталонне джерело ^{137}Cs і провести вимірювання потужності дози γ -випромінення, створеного еталонним джерелом, у мікрорентгенах на годину (мкР/год) або імпульсах за секунду (імпл/с); 4) послідовно ввести в проміжок поміж еталонним джерелом та зондом приладу захисні екрани з алюмінію, просвинцьованої гуми та оргскла і визначити потужність дози, зареєстровану приладом; 5) аналогічні вимірювання провести із захисними екранами зі свинцю; 6) розрахувати товщину шару половинного послаблення для цього елемента; 7) визначити потенційно можливу дозу ІВ від еталонного джерела за 6-годинний робочий день та при використанні різних захисних екранів; 8) дані досліджень занотувати у таблиці; 9) зробити висновки.

Дози ІВ за день при використанні різних захисних екранів

Тип захисного екрану	Потужність дози випромінення, мкР/год	Доза ІВ, отримана за день, Р
Без захисного екрану Алюміній Оргскло Свинець		

Лабораторна робота № 2

Визначення потоку β -частинок від еталонного джерела на різній відстані
від детектора

Порядок виконання роботи: 1) підготувати один із β -радіометрів («ТИСС», «РУСТ», УІМ-2, КРБ-1, МКС-01-Р, МКС-04М) до роботи згідно з інструкцією; 2) підготувати еталонне джерело β -випромінення на стандартній підложці (^{32}P , ^{90}Sr); 3) визначити швидкість лічби імпульсів від фону за одну хвилину (N_{ϕ}); 4) піднести еталон на відстань 1 см до детектора приладу і записати швидкість лічби від еталона і фону в імпульсах за хвилину ($N_{\text{ет}} + N_{\phi}$); 5) аналогічне вимірювання провести на відстані 5, 10, 20 см; 6) ввести в результати вимірювань похибку, виконавши підрахування лічби фону

$$N_{\text{ет}} = (N_{\text{ет}} + N_{\phi}) - N_{\phi}$$

1) розрахувати зниження інтенсивності потоку β -частинок залежно від відстані еталона від детектора; 8) дані розрахунків внести в таблицю.

Зміни інтенсивності β -потоку залежно від відстані

Відстань від еталона до лічильника, см	Швидкість лічби від еталона і фону, ($N_{\text{ет}}+N_{\text{ф}}$), імп/хв	$N_{\text{ф}}$, імп/хв	$N_{\text{ет}}$, імп/хв	Коефіцієнти зміни швидкості лічби
1				
5				
10				
20				

Лабораторна робота № 3

Визначення шару половинного послаблення β -випромінювання

Порядок виконання роботи: 1) підготувати радіометри ПС-20, КРБ-1 до роботи згідно з інструкцією; 2) визначити швидкість імпульсів електричного струму, які виникають у детекторі від фону $N_{\text{ф}}$ (імп/хв). Час вимірювання 3 хвилини; 3) на відстані 5 см від детектора розташувати джерело β -частинок (еталон ^{90}Sr) і визначити швидкість підрахунку імпульсів від нього без фону $N_{\text{ет}}$ (імп/хв). Час вимірювання - 3 хвилини; 4) накладати по черзі на еталон (препарат) пластини з фольги, визначаючи після кожної швидкість імпульсів до тих пір, поки значення не наблизиться до показників фону; 5) результати досліджень занести у робочий зошит за формою; 6) за результатами вимірювань накреслити графік: на осі ординат відкладають показники швидкості імпульсів ($N_{\text{оет}}$), на осі абсцис - кількість пластин. Визначити

№ вимірювання	К-сть пластин	$N_{\text{ет}}+\text{ф}$ за 3 хв	$N_{\text{ет}}+\text{ф}$, імп/хв	$N_{\text{ф}}$, імп/хв	$N_{\text{оет}}$, імп/хв
1	0				
2	1				
3	2				

кількість пластин, що зменшують інтенсивність β -частинок у два рази; 7) визначити шар половинного послаблення ($1/2$) в одиницях поверхневої густини ($\text{мг}/\text{см}^2$). Для цього визначити середню масу 1 см^2 (мг) фольги і помножити результат ($\text{мг}/\text{см}^2$) на кількість пластин, що зменшують у два рази інтенсивність потоку β -частинок; 8) провести аналогічні дослідження і розрахунки з пластинами з оргскла; 9) зробити висновки.

Лабораторна робота № 4

Визначення поверхневого забруднення різних об'єктів β -випромінюючими ізотопами та ефективність їх дезактивації

Порядок виконання роботи: 1) підготувати радіометр (КРБ-1, МКС-01Р та їх аналоги) до роботи згідно з інструкцією; 2) визначити середній результат випромінювання фону (імп/хв·см²); 3) визначити ефективність дезактивації різних поверхонь (пластикат, лінолеум, оргскло, глазуrowаний і метлахський кахель) дезактивууючими засобами (10 %-й розчин фосфату натрію, щавелевої кислоти, розчин порошку «Захист» і вода). Для цього автоматичною піпеткою нанести на різні поверхні 1-2 краплі радіоактивного ізотопу ³²P, ⁹⁰Sr і висушити поверхню; 4) визначити швидкість підрахунку імпульсів до і після проведення дезактивації за допомогою радіометра; 5) із результатів вимірювання вирахувати значення фону; 6) зробити висновки про ефективність різних миючих засобів; 7) після виконання роботи провести дезактивацію робочого столу, перевірити її ефективність, вимкнути прилад, вимити руки.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте суть і значення радіометрії.
2. Вкажіть класифікацію дозиметрів.
3. Вкажіть основні правила відбору проб для радіологічного аналізу.
4. Радіометрія це наука, що : - вивчає фізичні і хімічні явища в природі;
 - здійснює моніторинг радіаційного забруднення навколишнього середовища;
 - вивчає будову атома.

7. ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ОПРОМІНЕННЯ

7.1. Біологічна дія іонізуючого опромінення. 7.2. Фізична та хімічна дія іонізуючого опромінення. 7.3. Променеві ураження великих тварин. 7.4. Системні радіобіологічні реакції. 7.4.1. Інтегративність радіобіологічних реакцій. 7.4.2. Генетична нестабільність індукована опроміненням.

Радіонукліди проникають в організ через органи травлення, дихання та через всю поверхність тіло з пилом, повітрям, водою, кормом і їжею. Деякі з них розподіляються рівномірно в тканинах, органах, системах органів організму (третій, вуглець, залізо, полоній), деякі накопичуються в кістках (стронцій, радій, фосфор), інші - в м'язах (цезій, калій, рубідій), деякі – в

щитовидній залозі (йод), деякі – в печінці, селезінці, нирках (ніобій, полоній, рутеній). Ефекти іонізуючого опромінення поділяють на біологічні, фізичні, хімічні. Їх систематизують за видами ушкоджень і часом прояву. За видами ушкоджень їх поділяють на соматичні, сомато-стохастичні (ймовірні), генетичні. За часом прояву їх поділяють на ранні й пізні, хронічні та гострі. Іонізуючі опромінення поділяють на зовнішні й внутрішні (інкорпоровані).

7.1. Біологічна дія іонізуючого опромінення

Основний механізм дії радіації пов'язаний з процесами іонізації атомів і молекул біогенної матерії, зокрема молекул води, що міститься в клітинах. Якраз вони і піддаються інтенсивному ураженню. Викликані ураження можуть бути зворотними і незворотними, протікати у формі різної тяжкості променевої хвороби, або обумовлювати летальні наслідки.

Під впливом іонізуючого опромінення атоми і молекули живих клітин іонізуються, в результаті відбуваються складні фізико-хімічні процеси, що впливають на характер подальшої життєдіяльності живої системи.

Існує думка, що іонізація атомів і молекул яка виникає під дією випромінювання, веде до розривання зв'язків у білкових молекулах, а це призводить до загибелі клітин і ураження всього організму. Часто пояснюють формування біологічних наслідків іонізуючих випромінювань суттєву роль відіграють продукти радіолізу води, якої в складі організму може бути до 70% його маси. Продукти радіолізу води вступають у хімічну взаємодію з молекулами білків та ферментів, руйнуючи їх, у результаті утворюються сполуки, не властиві живому організму. Це призводить до порушення обмінних процесів, пригнічення ферментних і окремих функціональних систем, порушення життєдіяльності всього організму.

Специфічність дії іонізуючого опромінювання полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується, й у них втягуються багато сотень, тисяч молекул, не уражених опроміненням. Ефект дії іонізуючого опромінення зумовлений не кількістю поглинутої енергії об'єктом, який опромінюється, а формою, в якій ця енергія передається. Ніякий інший вид енергії (теплова, електрична), що поглинається біологічним об'єктом у тій самій кількості, не призводить до таких змін, які спричиняє іонізуюче опромінення.

Радіація діє на субмолекулярні, молекулярні, клітинні, тканинні системи, на органи та системи органів (імунну, нервову, травлення, виділення, розмноження тощо) і на організм як єдине ціле, ушкоджуючи всі рівні життя і здійснюючи вплив на всі феномени живого (ріст, розмноження, спадковість, мінливість, резистентність і тривалість життя).

Радіація змінює такі властивості живого як мінливість і спадковість, обумовлює мутації, може бути причиною дрейфу генів, кросинговеру, змінювати напрям доцільного розвитку організму.

Радіація руйнує інтегруючу, регулюючу функції нервової, імунної, гематогенної систем. Вона вносить до організму якби біологічний “безлад”. З особливою силою радіація уражає нервову функцію на рівні рецепторів, де передача нервових імпульсів здійснюється значною мірою на електричних закономірностях взаємодії молекулярних компонент медіаторів, що мають різні заряди.

За нормального процесу травлення в організмі людини і тварин їжа, що надходить, розщеплюється на більш прості легко розчинні сполуки (білки аж до амінокислот, жири – до жирних кислот і гліцерину, вуглеводи до моноцукрів), які через мембрани надходять в середину кожної клітини і використовуються як будівельних та енергетичний матеріал. При іонізуючому опроміненні порушуються молекулярні зв'язки, проникливість і регулююча функція мембран, атоми перетворюються в іони. Через уражені мембрани в клітини проникають токсини. При невеликих дозах опромінення можлива рекомбінація і реіонізація атомів, молекулярні зв'язки відновлюються і клітини піддаються репарації (відновленню).

Якщо доза опромінення висока або багато разів повторюється, то електрони, атоми не встигають реіонізуватися, рекомбінуватися, репаруватися. Молекулярні зв'язки не відновлюються. Виходить з ладу велика кількість клітин, робота тканин і органів розладнується. Нормальна життєдіяльність організму стає неможливою.

Специфічність дії іонізуючого опромінення полягає в тому, що інтенсивність хімічних реакцій, індукованих вільними радикалами, підвищується, й у них залучаються багато сотень і тисяч молекул, які були не порушені опроміненням.

Особливості іонізуючого опромінення наступні:

- органи чуття не реагують на опромінення;
- малі дози опромінення мають кумулятивний ефект, накопичуються;
- іонізуюче опромінення має генетичний ефект, тобто, вражає не лише об'єкт, який опромінюється, але і його потомство;
- різні організми, навіть одного виду, мають різну радіочутливість;
- іонізуюче опромінення піддається радіопротекції і радіосенсибілізації.

Первинні фізичні процеси, що виникають у результаті іонізуючого опромінення біологічних об'єктів, обумовлюють утворення речовин з високою хімічною активністю. Біологічну дію опромінювання головним чином пов'язують з продуктами радіоліза води, до яких відносяться вільні атоми і радикали H, OH, H₂O₂.

Але іонізуюче випромінювання може здійснювати і пряму дію на біологічні молекули і надмолекулярні структури. Випромінювання викликає різноманітні денатураційні зміни - розрив слабких зв'язків, відрив радикалів, деполімеризацію тощо. У результаті біологічного ефекту певне значення можуть мати процеси міграції енергії і утворення стійких метастабільних сполук, що

виникають унаслідок тривалого збереження стану збудження в деяких макромолекулярних субстратах.

Дослідження свідчать, що одержана макромолекулами енергія від опромінення внаслідок прямого чи непрямого опромінення, як правило, не реалізується в тому місті, де відбувся акт взаємодії. Вона мігрує специфічними шляхами для даної структури і вражає у найбільш слабкому місці. При цьому в макромолекулах виникають скриті довгоживучі ураження, які можуть бути виявлені з допомогою впливу нерадіаційного фактору.

Іонізуюче опромінення пригнічує активність різних ферментних систем, змінюється середовище клітини, підвищується проникливість клітинних мембран, спостерігається денатурація білків, дегідратація системи, порушується внутрішнє середовище клітини, її гомеостаз.

Рівень сучасних досліджень свідчить, що радіаційна чутливість клітинного ядра і цитоплазми однакові. Але опромінення ядра обумовлює більш тяжкі і біологічно значимі ураження.

Структурні ураження хромосомного апарату, як правило ведуть до гибелі клітини в процесі мітозу або появи не життєздатних клітин.

Пригнічення митотичної активності клітини є специфічним проявом біологічної дії іонізуючого опромінення.

Найбільш тяжкі наслідки іонізуючого ураження статевих клітин обумовлюються тим, що вони є найбільш біологічно активні й складні за будовою і функцією.

З підвищенням рівня інтенсивності обмінних процесів радіаційна чутливість зростає. Найбільш чутливі до опромінення гемопоетична тканина (червоний кістковий мозок), епітелій травного тракту, тканина гонад, епітелій шкіри, сумки хрусталика, фіброзна тканина, хрящ, кістки, нервова тканина, м'язи. Ці тканини розміщені відповідно зменшення їх радіочутливості.

Існує думка, що процес розвитку життя завжди здійснювався при шкідливій дії радіації, що завжди йшла боротьба за виживання, що радіація першопричина мутацій, які забезпечують мінливість організмів від покоління до покоління, забезпечуючи їх удосконалення і поліпшуючи організацію.

Але з волі і в результаті діяльності людини за останній, історично дуже короткий період, значно зріс радіаційний тиск на природу і на людину за рахунок штучної радіації (термоядерні випробовування, використання рентгенівської техніки, суден і літаків з атомними джерелами енергії, польоти на значній висоті, робота атомних реакторів, для досліджень, діагностики і лікування, для стерилізації, в селекції тощо). У наш час радіаційний тиск значно випереджає еволюційний процес адаптації до нього, особливо це виражено на складних довгоживучих організмах. Якщо мікроорганізми мають значно більший тиск життя і більш короткі хвили життя, то вони значно швидше у часі пристосовуються до радіації. Тому сьогодні є мікроорганізми, які пристосувались до життя навіть в атомних реакторах.

Людина зазнає опромінення двома способами – зовнішнім та внутрішнім. Внутрішнє опромінення в середньому становить 2/3 ефективної еквівалентної дози опромінення, яку людина одержує від природних джерел радіації. За підрахунками наукового комітету по дії атомної радіації ООН, середня ефективна еквівалентна доза зовнішнього опромінення, яку людина одержує за рік від земних джерел природної радіації, становить приблизно 350 мкЗв, це трохи більше середньої дози опромінення через радіаційний фон, що утворюється космічними променями.

Штучні джерела радіації мають значно більш інтенсивне випромінювання, ніж природні, створюючи все більшу радіаційну небезпеку. Але необхідно пам'ятати, що розвиток життя на Землі здійснюється на фоні постійно діючої природної радіації. Цим обумовлено те, що всі організми рослин і тварин здатні переносити радіацію, коли доза її не перевищує певного рівня. Якщо загальна доза опромінення була отримана не великими дозами, то біологічний ефект буде менший, а при безперервному незначному опроміненні протягом тривалого часу шкідливий ефект буде більшим.

Тварини, які після жорсткого опромінення вижили, але тривалість їх життя значно скорочується, у них зростає вірогідність виникнення злоякісних пухлин, різько знижується резистентність.

Більшість ефектів післядії опромінення визначаються сумарною дозою опромінення. Фактор часу впливає тільки на швидкість захворювання (променева хвороба).

Фактори, що послаблюють резистентність організму, погіршують його фізіологічний і фізичний стан, значно підвищують чутливість організму до радіації (виснаження, стома, недосипання, голод, інфекційні і неінфекційні хвороби, охолодження, хронічні хвороби тощо).

7.2. Фізична та хімічна дія іонізуючого опромінення

У живому організмі за іонізуючого опромінення можуть спостерігатись явища трьох типів:

1. Шлях іонізуючої частинки чи фотона проходить крізь велику молекулу і, безпосередньо, механічно ушкоджує її;
2. Енергія іонізуючої частинки перетворюється у тепло в дуже малому об'ємі, і висока температура, що розвивається при цьому викликає ураження, наприклад, денатурацію білків;
3. При ураженні через середовище, в якому розчинена речовина, або вона тут знаходиться у вигляді суспензії, іонізуючі частинки іонізують розчинник, що призводить до утворення молекул, які мають дуже високу реакційну здатність, що призводить до вступу їх у реакцію з розчищеною речовиною.

Теорія мішені (попадання, влучення)– теорія, що пояснює залежність радіобіологічного ефекту від дози і виду іонізуючого опромінення. В її основу покладено принцип попадання і принцип мішені.

Принцип попадання характеризує сукупність зіткнень заряджених частинок з атомами і молекулами середовища, яке їх поглинає. При малих дозах ці зіткнення носять випадковий характер.

Принцип мішені характеризує, що лише частина променів попадає в чутливий субстрат і здійснює ефект.

Один з наслідків іонізуючого опромінення - зміна спадковості в потомстві. Отже, можна заключити, хромосоми і специфічні гени в них одержали якісь ураження. Таким чином, акт іонізації повинен відбутись у тому місці, де знаходилась дана молекула чи ген; мабуть, ураження обумовлює тільки пряме попадання іонізуючої частинки або фотона.

У другому випадку ефект буде спостерігатись тоді, коли акт іонізації відбувається в межах певного чутливого поля (об'єму) біологічного субстрату.

Чутливу молекулу, ген або чутливий об'єм називають мишенею, а вражаюче їх іонізуюче опромінення – ударом.

Мабуть, теорія мишені має відношення тільки для певних типів корпускулярного іонізуючого опромінення, оскільки ряд явищ опромінення цією теорією ще пояснити неможливо.

Теорія точкового нагріву. Майже вся енергія, що поглинається тканиною, у кінці кінців, перетворюється у тепло.

Якщо допустити, що таке підвищення енергії миттєво спостерігається в дуже малих точках об'єму тканини, то можливо, що підвищення температури у цих точках надто значне. Таке локальне підвищення температури обумовлює виникнення хімічних реакцій, незвичайних і не характерних для нормальних умов, руйнування молекул, коагуляцію (денатурацію) білків.

Хімічна теорія. Живі тканини містять знатно більше молекул розчинника /води/, ніж розчиненої речовини. Тому ефект, який обумовлений поглинанням іонізуючого випромінювання у воді буде характеризуватись значно більшими ударами по молекулах розчиненої речовини.

При іонізації вільні електрони, що звільнились з молекул води, починають взаємодіяти з іншими молекулами, що призводить до виділення вільного водню. Вільні атоми водню володіють значною реактивністю і, у свою чергу, можуть діяти на молекули розчиненої речовини, що не приймає безпосередньої участі в реакції.

Коли молекули води збуджуються за рахунок поглинання енергії, достатньої тільки для збудження, то утворюється перекис водню:



Таким чином, у результаті поглинання іонізуючого випромінювання із води утворюється H_2 та H_2O_2 ; ці речовини вступають у реакцію з молекулами різного типу.

Такі хімічні реакції, можливо, і викликають ураження біологічних структур.

7. 3. Променеві ураження великих тварин

1. *Променевий синдром у тварин.* У ссавців тяжкість симптомів променевої хвороби і часу її прояву залежить від інтенсивності опромінення, типу опромінення, а також від виду, віку, інтенсивності обміну речовин, фізіологічного та клінічного стану організму, від того, чи тварина одноразово одержала велику дозу чи її опромінюють багато разів невеликими дозами.

2. *Дія випромінювання різного типу.* Число іонів, що утворюються на 1 см сліду, називають питомою іонізацією в речовині, яка поглинає іонізуюче випромінювання.

Питома іонізація, що створюється альфа-частинкою в тканинах, майже в 1000 разів більша іонізації, що створюється бета-частинкою.

Але у бета-частинки проникаюча здатність значно вища, ніж у альфа-частинки, а у гама-променів - значно вище, ніж у бета-частинок.

Променеве ураження поверхневих шарів шкіри значно менше впливає на організм, ніж аналогічні ураження тих клітин глибоких тканин тіла, які відрізняються активним обміном.

3. *Фактор часу при променевому ураженні.* За умов багаторазового опромінення малими дозами тварина може витримати більш значне опромінення, ніж за умов разового опромінення великими дозами.

Після опромінення процес відновлення йде дуже повільно. Окрім того залишкові дози опромінення накопичуються. Наприклад, при щоденному опроміненні 10%-ною летальною дозою, тварина проживе на декілька днів довше. При щоденному опроміненні 1% дозою тварина проживе ще довше.

4. *Інтенсивність опромінення.* При дозах опромінення не вище 25 рентген клінічні симптоми не спостерігаються. При опроміненні дозою 50 рентген спостерігається ураження крові, при 100 рентгенах спостерігається тошнота, стомлюваність. При опроміненні 125 рентген та вище проявляється блювота. Тривалість життя при таких дозах опроміненнях скорочується на 1-10%. При опроміненні дозою 200 рентген смерть може наступити через 2-6 тижнів. Для більшості людей доза в 400 рентген є летальною.

Вплив іонізуючого опромінення на ембріон і плід тварин та людини. Протягом онтогенезу чутливість організму до радіації є різною. Найвищу радіочутливість мають ембріон і плід. Наприклад, для зиготи (4-11 днів після запліднення) дози поглинутої радіації 0,05-0,15 Гр можуть виявитися летальними. Для ембріонів мишей ця доза (експозиційна) дорівнює 0,0516 Кл/кг (кулон на кг маси). Опромінення в різні періоди ембріогенезу обумовлює різні форми ураження, різні аномальні збочення (табл. 7.1.). Так, після бомбардування Хіросімо і Нагасакі в одинадцять жінок, які перебували на

відстані до 1200 м від епіцентру й мали вагітність 41-90 днів після запліднення, народилися діти з мікроенцефалією, тобто аномальне зменшення розмірів черепа, головного мозку, гальмування розумового розвитку). Отже, опромінення ембріону і плоду впливає на утворення нервових клітин і формування нервової системи. У людини з третього тижня ембріогенезу формуються ствольні структури – кора головного мозку й мозочок. Опромінення ембріону в цей період навіть дозами біля 12,5 Гр негативно впливає на формування нервових клітин мозку. Опромінення в інші періоди вагітності обумовлювало появу гідроцефалії, аномалії будови серця тощо.

Опромінення на 4-11 тижнях пренатального розвитку негативно впливає на формування внутрішніх органів. Опромінення на 11-16 тижнях вагітності – обумовлює пригнічення росту плоду, появу аномалій статевої системи. При опроміненні на 16-20 тижнях обумовлює мікроенцефалію, гальмування росту та розумового розвитку. За умови опромінення після 30 тижня вагітності спостерігається значно рідше поява морфологічних аномалій.

Тварини різних таксономічних груп, характеризуються різною радіочутливістю пренатального періоду. Так, розвиток курчат характеризується порівняно низькою радіочутливістю. Але, при цьому помічена висока їх радіочутливість з 2 по 9 дні насиджування, потім радіочутливість знижується до 15 дня і знову зростає з 17 до 18 днів. У мишей найбільш чутлива зигота до 5 днів після запліднення.

У дослідах на собаках встановлено, що внаслідок опромінення формуються морфологічні аномалії саме тих органів, які в момент дії радіації перебували в найбільш активній фазі розвитку.

Таблиця 7.1

Аномалії ембріонального розвитку під впливом радіації

Форми аномальних збочень онтогенезу	Час опромінювання після запліднення, днів
Загибель зиготи	4-11
Часткова або повна відсутність черепа та головного мозку (аненцефалія, мікроенцефалія)	9-90
Розщеплення піднебіння	20—37
Аномальна будова серця	21-29
Розщеплення хребта	16-54
Відсутність яблук ока (анофтальмія)	20-54
Формування аномального скелету	25-85
Гальмування органогенезу	54 та наступні дні

Найбільша частина зигот та ембріонів гине у овець та свиней при опроміненні в перші 13 днів, у корів - перші 15 днів після запліднення.

Важливою проблемою наслідків радіації на ембріон і плід є, по-перше, тератогенні явища (поява різноманітних вродств); по-друге, явища

потенціальної небезпеки, що проявляються у майбутніх поколіннях після опромінення. Остані сучасними методами дослідження не можуть бути виявлені. Опромінення жінок у період вагітності обумовлює народження дітей схильних до захворювання лейкозом, ослабленою імунною системою й резистентністю, схильними до інфекційних захворювань.

Дослідження впливу радіації на генеративні клітини, гаметогенез, ембріогенез та розвиток плоду тварин і людини є актуальними і заслуговує особливої уваги.

Дія радіації на імунну систему тварин і людини. Радіація руйнує сакраментальні властивості імунної системи – самозберігатися, самозахиститися, самоудосконалюватися. Установлено, що опромінення обумовлює, перш за все, синдром імунодефіциту. На стан імунної системи впливають як опромінення значними дозами, так і хронічне за умови опромінення малими дозами. Імунна система значною мірою забезпечує резистентність організму до інфекційних хвороб, біологічну індивідуальність та цілісність організму. Імунна система визначає природній імунитет організму, що реалізується фізичними і хімічними факторами впливу на збудників хвороб, процесами фагоцитозу і піноцитозу тощо.

Захистна функція шкіри визначається рядом факторів. Наприклад, на поверхні фізіологічно нормальної шкіри є бактеріоцидні виділення – молочна кислота, жирні кислоти, в середовищі яких більшість бактерій втрачають свою вірулентність і навіть гинуть. Під впливом радіації епітеліальні клітини шкіри значно знижують секрецію таких речовин.

Спостерігається зниження секреції захистних речовин і клітинами епітелію дихальних шляхів. Епітеліальні клітини відзначаються високою чутливістю до радіації. Під дією опромінення вони значно знижують інтенсивність свого самовідновлення.

Зниження імунної функції організму під впливом радіації певною мірою обумовлюється ушкодженням червоного кісткового мозку та інших кровотворних органів. У результаті знижується наявність формених елементів крові, тому знижується її захистна, трофічна, регулююча функції. Все це впливає на стан здоров'я організму.

Під впливом радіації гальмується ферментативна і гормональна активність, мабуть, через ураження крупномолекулярних білків, які входять до складу біологічно активних речовин.

При опроміненні в організмі спостерігаються аутоімунні процеси, коли антитіла організму вступають у взаємодію зі власними антигенами, обумовлюючи аутоімунну гематолітичну анемію, ревматичні артрити тощо.

7.4. Системні радіобіологічні реакції

Радіація діє фізичними (іонізація, точкова температура, механічні ушкодження), хімічними (активність і напрямок хімічних реакцій), біологічними (функціонування клітин, таканин, органів, систем органів і всього організму) факторами на рівнях молекулярному, клітинному, тканинному, органному, системи органів, організменому, популяції, виду, таксономічної одиниці тощо. А радіаційний ефект одержується системний, тобто кожна біологічна система відповідає на дію радіації системно і як елементарна структурна і функціональна одиниця організму, і паралельно з цим всім комплексом феноменів життя (обмін речовин, ріст і розмноження, адаптивність, резистентність тощо). За певних умов вони можуть каталізуватися, реалізуючи ресурси самозахисту, пригнічуватися або навіть руйнуватися.

Радіоадаптація за умови опромінення малими дозами є прикладом системної відповіді організму на опромінення. Системною відповіддю на опромінення є утворення гігантських клітин, що вказує на втрату контролю над процесами росту клітин (при втраті здатності до розмноження). Також може проявлятися рецепція тварин, коли у результаті опромінення вони можуть втрачати певні умовні рефлекси (відмова від корму, збочення етології, нова реакція на певні зовнішні подразнення тощо).

Організм рослин і тварин відповідає на дію радіації як одне ціле, оскільки він є досконалою системою з комплексом взаємозв'язків, взаємозалежностей, взаємовпливів і взаємозворотностей, якби потоків інформації знизу до верху і навпаки.

7.4.1. Інтегративність радіобіологічних реакцій

Первинні радіаційні молекулярні ураження обов'язково зумовлюють вторинні. Відхилення процесів (фізичних, хімічних, біологічних) у клітині від норми збуджують прагнення живої клітини реалізувати здатність до самозахисту, прагнення відновити внутрішньоклітинний гомеостаз і мембранні системи, репарацію ДНК, прискорити поділ клітин. Отже, опромінення, дозою до певного рівня, породжує сигнал до активізації компенсаційних процесів: регенерації, апоптозу, підвищення метаболічної активності. Все це діє як ефект первинного ушкодження.

Опромінення обумовлює загибель клітин, у результаті розпаду яких появляються токсини. Токсини здійснюють дистанційні процеси, діючи на неопромінені або меншою мірою уражені клітини. У результаті створюється напруження всієї живої системи від імунної до системи крові, серцево-судинної, нервової тощо, що формує системну відповідь організму на опромінення, починаючи від клітини до цілого організму. У цьому полягає суть інтегративності радіобіологічних реакцій.

7.4.2. Генетична нестабільність індукована опроміненням

Індукована опроміненням генетична нестабільність характеризується наступним:

- порушуються функціонування корегуючих систем клітини протягом декількох поколінь;
- підвищується мінливість спадкових ознак;
- зростає частота генних мутацій і хромосомних аберацій;
- спостерігається трансформація клітин;
- проявляється локусна специфічність (наприклад, у різних локусах різні реакції і наслідки опромінення);
- урфжаються гени, які контролюють репарацію, реплікацію, рекомбінацію і транскрипцію в хромосомах;
- генетична схильність до канцерогенезу;
- пригнічується синтез РНК тощо;
- проявляється ампліфікація гена – збільшення кількості генів, локус-специфічне збільшення кількості його копій під впливом опромінення ДНК, гігантизм ДНК і хромосом;
- стохастичні ефекти – аберації хромосом, що супроводжуються патологією процесів у клітині і організмі;
- порушується клітинний гомеостаз.

7.4.3. Дистанційні ефекти опромінення

Дистанційні ефекти опромінення виражаються тим, що часто проявляється патологія тих органів, які не зазнавали опромінення. Це здійснюється у результаті того, що опромінені органи виділяють певні хімічні фактори, які ушкоджують не опромінені органи.

Дистанційна дія опромінення в межах одного організму здійснюється від системи органів опромінених до системи органів не опромінених. Дистанційні ефекти опромінення в межах двох організмів вивчають з використанням *парабіонтів*, коли два організми тварин штучно з'єднуються кровеносними системами. У парабіонтів, очевидно, дистанційний ефект реалізується через систему крові від опромінених органів до не опромінених.

Результатом дистанційного ефекту опромінення якби в просторі і часі є соматичний і мультигенеративний канцерогенез. *Соматичний* канцерогенез – це трансформація соматичних клітин, які розмножуються мітотичним поділом, а *мультигенеративний* - у опромінених батьків потомство має специфічні і неспецифічні пухлини, може проявлятися ембріональна смертність, мутації, мертвонародженість, тератогенія (виродства).

Опромінення може змінити геном, наприклад, людини: він у нормі складається з 3,5 млрд. нуклеотидів, приблизно 35 тисяч генів (раніше вважали, що генів у геномі людини значно більше 100 тисяч).

Як результат дистанційного ефекту опромінення може проявлятися *апоптоз* – формування відповіді на певні фізіологічні сигнали або ушкодження. Апоптоз – це якби запрограмована загибель клітин у результаті дії чисельних продуктів та факторів і підлягає складній своєрідній регуляції. Цим апоптоз відрізняється від некротичної загибелі. Апоптоз відіграє важливу роль у клітинному імунитеті, ембріогенезі, морфогенезі, регресії пухлин. Очевидно, апоптоз тісно пов'язаний з нервовою, ендокринною, імунною діяльністю організму.

Дистанційні ефекти опромінення та дії інших факторів вивчають радіоміметика, ендокринологія, біоінформатика, геноміка, телегонія та інші науки

Контрольні питання

1. Вкажіть можливі наслідки радіаційного впливу на живі організми.
 2. Охарактеризуйте біологічну дію іонізуючого опромінення.
 3. Поясніть суть теорії “мішені”.
 4. Обґрунтуйте теорію точкового нагріву.
 5. Поясніть механізм хімічної ушкоджуючої дії радіації.
 6. Охарактеризуйте явище соматичного та мультигенеративного канцерогенезу.
 7. Поясніть поняття “апоптоз”.
 8. Уражаюча дія радіації це: - фізичні ушкодження живих систем;
- хімічні ушкодження живих систем;
 - фізичні, хімічні і біологічні ушкодження живих систем.

8. ЗАХОДИ ЗАПОБІГАННЯ ПРОНИКНЕННЯ ТА ПРИСКОРЕННЯ ВИВЕДЕННЯ РАДІОНУКЛІДІВ З ОРГАНІЗМУ

8.1. Шляхи надходження радіонуклідів до організму. 8.2. Речовини та механізми, що запобігають всмоктуванню радіонуклідів в організм. 8.3. Шляхи виведення радіонуклідів з організму.

8.1. Шляхи і джерела надходження радіонуклідів до організму

За умови зовнішнього опромінення радіонукліди надходять до організму тварин і людини через органи дихання (1-2%), систему органів травлення (до 97%), шкіру (до 1%).

Навіть якщо б вдалося припинити виробництво усіх видів і випробування ядерної зброю, електроенергії на АЕС, використання радіонуклідів у науці, медицині, сільському господарстві тощо, то залишається важливою проблема очищення і надійне поховання накопичених вже за ці роки радіоактивних відходів.

Джерелами надходження радіонуклідів до організму тварин і рослин є космічне випромінювання, природна радіація, галузі атомної енергетики, наукових досліджень, військової діяльності, а також рентгенологічні процедури, використання кольорових телевізорів, комп'ютерної техніки і польоти на літаках на великих висотах, накопичення радіоактивних відходів тощо. Особливо значний рівень опромінення населення за рахунок продуктів ядерних вибухів спостерігався у 1963-1966 роках. Протягом двох років після Чорнобильської катастрофи зовнішнє опромінення досягло 90% від загальної дози, а вже у 1992 році воно знизилось до 80% за рахунок зростання інкорпорованої радіації.

У середньому людина одержує близько 180 мкЗв протягом року з водою, продуктами харчування, повітрям. Наприклад, з калієм до організму надходить до 40 мкЗв, оскільки разом з нерадіоактивним до організму надходить і радіоактивний калій.

Природні радіоактивні елементи містяться в будівельних матеріалах, особливо у шлакоблоках та бетонних конструкціях. Тому погана вентиляція таких будівель може супроводжуватись зростанням рівня радіації. У повітрі таких приміщень зростає доза радіоактивних аерозолей, що утворюються у результаті розпаду газу радону, який у свою чергу утворюється під час природнього розпаду радію, що міститься в ґрунті й будівельних матеріалах.

Рентгенологічні дослідження, медичні процедури методи лікування, пов'язані із застосуванням радіації, вносять певний внесок до опромінення людини. Так, при рентгенографії зубів людина одержує місцеве разове опромінення 0,03 Зв (3 бер), при рентгенографії шлунку – 0,3 Зв (30 бер), при флюографії – 3,7 мЗв (370 мбер).

Використання в сільському господарстві фосфорних добрив, що містять природні радіонукліди урану і торію, може бути певною мірою додатковим опроміненням і надходженням в організм радіонуклідів. Ці радіонукліди накопичуються в ґрунті, потім з пилом і продуктами харчування потрапляють до організму.

Певна кількість радіонуклідів надходить до атмосфери від спалювання вугілля на теплових електростанціях, лісових та інших пожеж. Їх газОВО-аерозольні викиди можуть потрапляти в організм тварин і людини.

Радіонукліди, що попадають на поверхню ґрунту, протягом багатьох років залишаються в його поверхневому шарі. Якщо ґрунт бідний такими мінеральними компонентами, як кальцій, калій, натрій, фосфор, то утворюються сприятливі умови для міграції радіонуклідів у самому ґрунті і по ланцюгу “ґрунт – рослина – тварина – людина”. У першу чергу це відноситься до дерново-підзолистих і піщано-суглинистих ґрунтів. Наприклад, рослини на ґрунтах, бідних мінеральними компонентами, досить активно захоплюють цезій-137. Слід відмітити, що на таких ґрунтах лишайники захоплюють цезій-137 у 200-400 разів більше, ніж злакові трави. Досить складні шляхи міграції радіонуклідів у чорноземних ґрунтах.

Хорошим акумулятором радіонуклідів є ліси, особливо хвойні, вони містять у 5-7 разів радіонуклідів більше, ніж інші природні біогеоценози. При пожежах сконцентровані в лісовій підстильці, у корі деревини радіонукліди підіймаються з димовими частинками в повітря і потрапляють головним чином у тропосферу, біосферу. А вже через біосферу опроміненню піддаються інші біоценози на різних територіях. Значну кількість радіонуклідів накопичують гриби, лісові ягоди.

Від кольорового телебачення протягом одного хокейного чи футбольного матчу людина одержує опромінення 0,1 мкзв (1мкбер). Якщо людина щодено протягом 3 годин дивиться телепередачі, то доза опромінення становить 5 мкзв. Від люмінескуючих годинників, телебачення та інших техногенних факторів сучасна людина одержує понад 2-3 мзв (200-300 мбер).

Певна частина радіонуклідів надходить до раціону людини з продуктами харчування, добутими у Світовому океані, тому що через високу мінералізацію морської води продукти моря забруднені стронцієм і цезієм.

Відносно чисті від радіонуклідів є артезіанські й деякі ґрунтові води завдяки їх ізольованості від поверхневих шарів і атмосфери. А талі, дощові та утворені з них підземні води можуть бути джерелом надходження деяких радіонуклідів до організму рослин, тварин, людини.

З хлібопродуктами до організму людини може надходити від однієї третини до половини радіонуклідів від їх загального надходження. Хоча хліб входить до числа факторів, здатних знижувати засвоєння стронцію, особливо коли він виготовлений з темних сортів борошна, яке містить фітин – органічний препарат фосфору. Фітин здатний зв'язувати цей радіоактивний елемент і перешкоджає всмоктуванню його в кишечнику. Але фітин одночасно зв'язує і кальцій, знижуючи його вміст в організмі.

Досить значним джерелом надходження радіонуклідів до організму людини може бути молоко.

Значну частину радіонуклідів накопичують картопля, м'ясо і риба, гриби. У рибі й моллюсках концентрується досить значна кількість свинцю-210,

полонію-210, тому люди, які споживають багато риби та інших дарів моря, одержують відносно значні дози інкорпорованої радіації. Накопичення радіонуклідів у риб різних видів у одній й тій же водоймі може розрізнятися у 2-3 рази. Для хижих видів риб, наприклад, щука, окунь, накопичення стронцію-90 мінімальні і дуже значні – цезію-137, а для рослинної риби (короп, карась) навпаки максимальні накопичення стронцію і мінімальні цезію. Навіть станом на 2008 рік у деяких районах Київської області у грибах накопичується значна кількість радіонуклідів. Найбільше їх у гриба польського (понад 1000 Бк при допустимій нормі 500 Бк), у білих грибів – до 800 Бк, в опеньках – менше 500 Бк.

Найменше радіонуклідів в організмі гідробіонтів накопичується в прісних водоймах холодних кліматичних поясів, оскільки вода таких водойм слабо мінералізована. У таких водоймах порівняно легко одержувати екологічно чисті продукти.

Значному радіоактивному забрудненню гідробіонтів сприяє теплове забруднення водойм, до яких здійснюються скиди води з теплових і атомних електростанцій. З підвищенням температури водойм особливо зростає накопичення цезію в організмі риби.

Населення північних регіонів, яке споживає багато м'яса оленів, теж накопичує більше інкорпорованих радіонуклідів. Це обумовлено тим, що олені поїдають багато лишайників, а ці рослини особливо багато концентрують в собі радіонуклідів (полонію, свинцю).

Встановлено, що найбільшу питому вагу серед природних джерел радіації займає газ радон. Радон – невидимий газ. Він не має запаху і смаку, у 7,5 разів тяжчий, ніж повітря. У природі радон зустрічається у двох основних видах: радон-222 і радон-220. Основна частина радіації виділяється не від самого радону, а від дочірніх продуктів розпаду. Значну частину дози опромінення людина одержує від радіонуклідів радону, що попадають до організму з повітрям.

Радон виділяється із земної кори повсюдно, тому максимальну частину опромінення від нього людина одержує, знаходячись у закритому, непродіреному приміщенні нижніх поверхів будинків, куди газ проникає через фундамент і підлогу. Концентрація його у закритих приміщеннях може бути у 8 разів вищою, ніж на вулиці, а на верхніх поверхах значно нижчою, ніж на першому чи у підвалах.

На надходження і накопичення радіонуклідів в організмі риб впливає “теплове” забруднення водойм, зокрема нагрівання води за рахунок гарячих зливів від теплових і атомних електростанцій тощо, що впливає на фізику і хімію радіонуклідів та біологічні властивості гідро біонтів.

Радіоактивні речовини проникають до організму через легені з атмосферним повітрям, через шлунково-кишковий тракт з продуктами харчування та водою, через рани на шкірі і навіть через неушкоджену шкіру. Потрапляючи до організму, радіонукліди затримуються там від декількох днів

до десятків років і діють як мікрореактори, здійснюючи фізичний, хімічний, біологічний вплив на клітини, тканини, органи.

Розподіляються радіонукліди в організмі нерівномірно. Стронцій, барій, радій накопичується в кістках; лантаноїди, плутоній – у печінці, селезінці, кістковому мозку; цезій, рубідій – у м'язах; рутеній – у нирках; радіоізотопи йоду – у щитовидній залозі.

8.2. Речовини та механізми, що профілактують проникнення до організму або забезпечують виведення радіонуклідів

В організмах рослин і тварин концентрація природних радіонуклідів, як правило, нижча, ніж у ґрунті, на якому ростуть рослини і живуть тварини. Це певною мірою свідчить про те, що більшість природних радіонуклідів погано засвоюються рослинами і тваринами, що є фактори (протектори), що цьому перешкоджають

Радіопротекція – запобігання появі первинних ушкоджень біологічних молекул і об'єктів. А радіопротектори – це фактори хімічної, біохімічної природи, що спричиняють радіопротекторний ефект. Вони можуть бути природними або штучними.

До радіопротекторів відносять поліцукри (пектин, пектинова кислота, декстрин, ліпополіцукри), фенільні і фітинові сполуки, галати, серотонін, етиловий спирт, деякі жирні кислоти, мікроелементи, вітаміни, ферменти, гормони, деякі антибіотики (біоміцин, стрептоцид), наркотики (нембутал, барбаміл).

Радіопротектори класифікують за хімічною природою речовини, а також за особливостями перебігу гострої променевої хвороби у разі використання цих засобів виділяють такі групи:

- 1) мієло-, ентеро-, цереброрадіопротектори;
- 2) стимулятори резистентності;
- 3) фактори, що запобігають нагромадженню доз внутрішнього опромінення.

Виділяють наступні класи радіопротекторів:

- 1) Сульфогідрильні сполуки – речовини, до складу яких входить SH-група, наприклад, цистеїн, цистамін, сульфат Na тощо. Відомо понад 400 сульфогідрильних сполук.
- 2) Відновники. До цього класу відносяться вітаміни (аскорбінова кислота, тіамін, ціанокобаламін, ці та B, P вітаміни називають “вітамінами протидії”); спирти етиловий, бутиловий, пропіловий, метиловий; коферменти (АТФ, цитохром-С, з-бензохінон), каротиноїди.
- 3) Окисники. До цього класу відносяться O_2 , H_2O_2 , меланіни, феросульфати.

- 4) Комплексні сполуки. До цього класу відносяться 8-гідроксихінолін, дадекс-50, трилон-Б, купферон тощо.
- 5) Іони металів Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Hg^{2+} , Co^{2+} та інші, Вони хімічно досить активні самі і входять до складу біологічно активних речовин.

Важливим є використання біологічних радіопротекторів рослинного та тваринного походження. На особливу увагу поміж яких заслуговують білки **меланін** та **мелітин**. Меланін є сильним антиоксидантом, завдяки цьому різко знижується частота всіх типів мутацій після опромінення живих організмів. Мелітин підвищує стійкість живих організмів проти іонізуючого опромінення, проявляючи при цьому променезахисну дію. Оскільки дані білки входять до складу хітину та бджолої отрути, то, наприклад, підмор бджіл слід використовувати як сировину для виробництва продукції радіопротекторного спрямування у тваринництві.

Ряд харчових продуктів, лікарських рослин профілактують надходження радіонуклідів до організму або забезпечують їх виведення. До таких речовин відносяться полісахариди (пектин, декстрин), фенільні і хітинові сполуки, галати, серотанін, етиловий спирт, деякі жирні кислоти, мікроелементи, вітаміни, ферменти, гормони. Стійкість організму до радіації підвищують деякі антибіотики (біоміцин, спрептоцин), наркотики (нембутал, барбаміл).

Пектин – студениста речовина, що появляється під час приготування желе з плодів. У процесі травлення пектин перетворюється в полігалактуронову кислоту, що з'єднується з радіонуклідами і токсичними важкими металами. У результаті вже у шлунково-кишковому тракті утворюються нерозчинні солі, що не всмоктуються через слизову оболонку шлунково-кишкового тракту і виводяться з організму з екстрементами. Низькомолекулярні фракції пектину проникають у кров, утворюючи з радіонуклідами, що проникли в кров, комплекси, які легко виводяться з організму через нирки з сечею. Речовини, які містять в собі пектин, здатні протягом 1... 3 годин зв'язувати стронцій, цезій, цирконій, рутеній, іони свинцю, лантану, ніобію й евакувати їх з організму. Полісахариди типу декстрин, яких багато міститься в листі винограду, також володіють властивостями аналогічними пектину.

Для профілактики і лікування радіаційного ураження використовують женшень (листя, насіння і особливо корінь з рослин віком 8-20 років).

Радіозахистними властивостями володіють вітаміни С (аскорбінова кислота), групи В, Н (біотин), Р. Наприклад, радіонукліди руйнують стінки кровоносних судин (особливо ентиму судин та сюрфактант легень), а вітаміни С і Р відновлюють їх еластичність і проникливість. Радіація руйнує формені елементи крові й знижує активність лейкоцитів, а вітаміни групи В поліпшують мієлопоез. Підвищують стійкість організму до радіації параамінобензойна кислота, біотин. Вони теж стимулюють процеси кровотворення.

Особливої уваги щодо захистних властивостей від радіації заслуговують каратиноїди та всі овочі, багаті на лекопін (наприклад, томати). Бажано, щоб

каратиноїди і лекопін у продуктах харчування були постійно; з профілактичною метою їх слід приймати певні періоди дозами, вищими, ніж у харчових продуктах, а при лікуванні їх використовують досить значними дозами, але протягом лікувального курсу. Ці речовини володіють високими властивостями антиоксидантів.

Фенольні сполуки рослин визнаються як найбільш перспективні джерела потенційно активних протипроменевих засобів. Фенольні сполуки – це біологічно активні речовини лікувально-профілактичної дії, необхідні для підтримки життя і збереження здоров'я. Вони підвищують міцність кровеносних судин, регулюють роботу залоз внутрішньої секреції. Наприклад, прополіс (бджолиний клей) добре лікує місцеві променеві ушкодження шкіри, що головним чином пов'язано з його фенольними компонентами.

З чисельного ряду фенольних речовин найбільший інтерес викликають флавоноїди, що сприяють виведенню радіоактивних елементів з організму. Джерелом флавоноїдів є мандарини, чорноплідна горобина, обліпіха, цмин піщаний, гранати, шипшина, глід тощо.

Кальцій сприяє виведенню стронцію з організму.

Етиловий спирт володіє профілактичною радіозахисною дією щодо організмів бактерій, тварин і людини. При введенні до поживного середовища етилового спирту стійкість бактерій підвищується до 11-18%. При введенні до раціону мишей етилового спирту майже всі вони зберігають життя при опроміненні дозою 600 рентген.

Захистна дія радіопротектора характеризується фактором зміщення дози (ФЗД). Щоб визначити ФЗД необхідно напівлетальну дозу для захищених організмів ($L_{50/30}$) розділити на напівлетальну дозу ($L_{50/30}$) для незахищених організмів.

Фармакологічна ширина дії радіопротекторів визначається відстанню між кривими концентраційної залежності радіопротекторної й токсичної дії радіопротектора. Концентраційну залежність радіопротекторних ефектів можна пояснити медичним правилом про те, що сильні отрути у малих дозах можуть діяти як ліки, а хороші ліки у великих дозах можуть діяти як отрути.

Час дії радіопротектора залежить від того, коли його ввели до організму – до чи після опромінення.

Механізм дії радіопротекторів вивчений недостатньо, але певною мірою його можна пояснити наступним:

- 1) Вільнорадикальною гіпотезою, в основі якої лежить принцип перехоплення вільних радикалів молекулами радіопротектора;
 - хімічним захистом за принципом конкурентного вилучення вільних радикалів зі сфери можливої взаємодії їх із біологічно важливими молекулами;
 - молекулярного відновлення водень-донорної участі радіопротекторної речовини;
 - відновленням ферментів і їх властивостей;

- активацією гормонів, що регулюють (стимулюють) проліферативні процеси;
 - стимуляцією процесів виділення, пов'язаних із функцією систем крові, нирок, печінки, травного тракту, органів дихання.
- 2) Гіпотезою апопсії, в основі якої є те, що зменшення концентрації кисню у клітині супроводжується підвищенням її стійкості до радіації.
 - 3) Гіпотезою хелатування, в основі якої є те, що катіони металів у концентраціях, що не досягають токсичної норми підвищують стійкість до радіації, хоча відомо, що катіони срібла і ртуті навіть у дуже малих концентраціях підвищують радіочутливість. Отже, можливі явища і **радіосенсибілізації**, тобто зростання радіочутливості під впливом певних хімічних елементів і сполук.

Радіосенсибілізація широко використовується в клінічній медицині для підвищення радіочутливості клітин злоякісної пухлини.

- 4) Гіпотеза модифікації молекул-мішеней шляхом зниження в них метаболічних процесів.
- 5) Гіпотеза тривалості критичних періодів онтогенезу і тривалості дії радіації.
Запобігають проникненню радіонуклідів до організму такі заходи:
 1. Механічна (миття, очистка) обробка продуктів харчування. Таким шляхом можна на 20-22% знизити надходження радіонуклідів з морквою, томатами, шпинатом. Миття і очистка картоплі, буряків знижує вміст радіонуклідів до 30-40%, а бобів – до 60-62%. У моркви, буряків, ріпи, редьки рекомендується зрізати верхню частину, оскільки у цій частині плоду міститься до 80% усіх радіоактивних й інших токсичних речовин (свинець, ртуть, кадмій). Капусту слід очищати від верхнього шару листя і не використовувати в їжу качан.
 2. Варіння в присній воді знижує вміст радіонуклідів у продуктах до 30%, а в солоній – до 50%. При смаженні м'яса, риби тощо радіонукліди не виводяться з продуктів. Бульони після варіння забруднених продуктів краще не споживати. Технологія варіння може бути такою: залити продукт холодною водою, поварити до 10 хвилин, а потім цей відвар злити й залити продукт свіжою водою і доварювати як звичайно. При цьому вміст радіонуклідів знижується в два рази.
 3. Вимочування м'яса, риби у воді та інших продуктів з додаванням оцету знижує вміст радіонуклідів. При цьому продукти слід подрібнювати і витримувати їх у воді декілька годин. Але слід зауважити, що вимочування м'яса до 30% знижує його цінність.
При вимочуванні грибів вміст цезію знижується на 30%, а при відварюванні – на 90%. Вміст стронцію при цьому залишається практично на тому ж рівні.
При переробці молока до масла переходить близько 1% стронцію-90. Молоко, забруднене цезієм-137 та іншими недовгоживучими радіонуклідами, легко знешкодити, переробивши його в згущене, порошкоподібне, сир, масло й забезпечивши витримування цих продуктів.

Практично відсутні радіонукліди в крохмалі, цукрі, рафінованій рослинній олії.

Існує ряд рослин та плодів, які майже не накопичують радіонуклідів. Наприклад, топінамбур, вирощений на забрудненому ґрунті, не містить радіонуклідів ні в бульбах, ні в зеленій масі.

Слід зауважити, що у висівках від борошна, відварах риби, консервовані продуктів у автоклавах концентрація радіонуклідів у їстівній частині може зрости за рахунок надходження з неїстівної частини.

Фільтрування води через марлю та її відстоювання знижує вміст радіонуклідів. У відстоюючій воді зливається верхній шар і невикористовується нижній. Нині виготовляються пляшечки з краником у нижній частині, що дозволяє порівняно легко відділити верхній і нижній шари відстоюючої води, не змішуючи її при цьому.

8.3. Шляхи та механізми виведення радіонуклідів з організму

З організму порівняно швидко виводяться радіоактивні речовини, що концентруються в м'яких тканинах і внутрішніх органах (цезій, молибден, рутеній, йод, телур). Радіонукліди, що концентруються в кістках з організму виводяться повільно (стронцій, плутоній, барій, цирконій, ніобій, лантаноїди).

Основні шляхи виведення радіонуклідів з організму є травний тракт, нирки, органи дихання і частково шкіра.

Є речовини і продукти харчування, які сприяють цьому процесові. Так, венгерській лікар Кромпхер зі своїми колегами протягом 10-річних досліджень установили, що шкарлупа курячих яєць добре виводить радіонукліди з організму, перешкоджає нагромадженню стронцію-90 в кістковому мозку. Такі препарати як гіпс, крейда, хлористий кальцій погано засвоюються організмом. Ячна шкарлупа курей – багате джерело кальцію, який легко засвоюється організмом.

Кальцій сприяє виведенню радіонуклідів з організму, тому доцільно використовувати харчові та інші речовини, які багаті на кальцій, наприклад, шкарлупа яєць, сири, хлібопродукти тощо. Деякі харчові продукти профілактують дію радіації або сприяють зв'язуванню і виведенню радіонуклідів з організму, наприклад, полі цукри (пектин, декстрини), фенольні і фітинові сполуки, галвти, сиротин, етиловий спирт, деякі жирні кислоти, мікроелементи, вітаміни, ферменти, гормони тощо.

З лікувальною метою шкаралупу вживають від 2 до 6 разів протягом дня. Для цього яйця миють теплою водою з милом, добре ополіскують. У більшості випадків шкарлупа не вимагає спеціальної стерилізації. Для маленьких дітей шкаралупу на 5 хвилин поміщають у кип'ячу воду. Шкаралупа від яєць, зварених у круту значною мірою втрачає свою активність. Перед споживанням

шкарлупу перетирають у порошок у ступці. Можна споживати з сиром, кашею та іншими продуктами.

У шкарлупі міститься близько 30 мікроелементів. Її споживання профілактує скаліоз, зміцнює кістки, підвищується резистентність до застуд.

Введення шкарлупи до складу продуктів харчування показало її високу терапевтичну активність і відсутність побічних явищ.

Шкаралупа яєць качок і гусей лікувальними властивостями не володіє.

Слід відмітити, що при утриманні курей на забрудненій території, у шкаралупі їх яєць може накопичуватись стронцій. При варінні яєць він переходить до білку.

Білоруські та російські вчені установили високі лікувальні властивості перепелиних яєць при опроміненні малими дозами. У дітей, які перебували в зоні Чорнобильської катастрофи і пройшли курс лікування з використанням перепелиних яєць зникло запаморочення, болі у серці, покращився апетит, зникла втома, підвищилась кількість гемоглобіну в крові. Одужування таких дітей йшло швидше, ніж у тих, яких лікували з використанням медикаментів. У місті Вітебську (Беларусь) санаторій “Луки” здійснює лікування від радіації з обов’язковим використанням перепелиних яєць.

Цілющі властивості перепелиних яєць пояснюються тим, що в їх складі багато вітамінів, амінокислот й інших речовин, що володіють лікувальною, профілактичною радіозахисною дією.

Кверцетин – речовина, що міститься в яблуках здатна гальмувати розвиток ракових клітин. Окрім того, кверцетин має протизапальну дію і знижує шкідливу дію вільних радикалів. Яблука містять вітаміни і мікроелементи, що підвищують імунитет, поліпшують роботу серцево-судинної системи. За умови інкорпорованої радіації необхідно до раціону включати яблука.

Риба містить жирні кислоти **Омега-3**, які благотворно діють на мембрани клітин. Жирні кислоти Омега-3 профілактують серцево-судинні ураження. Риба значною мірою підвищує цінність раціону харчування.

Часник є необхідний не тільки за умови простудних захворювань, але і для профілактика раку шлунку та кишечника, закупорки кровеносних судин.

Клубника є не тільки багатим джерелом вітаміну С, вона багата на залізо, що підвищує імунитет організму. Ряд пигментів та ефірних масел клубники гальмують утворення ензимів, що провокують розвиток раку.

Бета-каротин моркви нейтралізує вільні радикали, що руйнують структуру ДНК і провокують рак. Бета-каротин жиророзчинний, тому до салатів з моркви необхідно додавати олію або сметану.

Вишні багаті на антиоксиданти і речовини, що мають протизапальну дію. Вони мають високий позитивний вплив на фізіологічну функцію м’язевих клітин.

Капсацин, що міститься в гіркому перці і обумовлює його гіркий смак, стимулює виділення шлункового соку, гальмує розмноження шкідливих

бактерій у шлунку і кишечнику, стимулює обмін речовин і репарацію клітин, тканин, органів.

Пігмент солодкого перцю *лютеолін* гальмує розвиток раку, профілактує серцево-судинні ураження.

Високими радіозахистними властивостями володіє чай, який містить біля 100 біологічно цінних речовин, зокрема *катехін*, що профілактує від окислення ненасичені жирні кислоти і утворення токсичних для організму перекисів. Зелений чай має високий вміст Р-вітамінну, катехіну, які захищають від атеросклерозу та ракових пухлин.

Виведенню радіонуклідів з організму сприяють вітамінні чаї, до складу яких входять кульбаба лікарська, материнка звичайна, м'ята перцева, пірій повзучий, барбарис звичайний, спориш звичайний, шипшина, цмин піщаний та чистотіл; плоди малини, горобини чорноплідної, смородини чорної тощо.

Корисні настої приготовлені з висушених плодів і частин рослин з розрахунку 1 столова ложка на 1 склянку води. Сировина поміщається до емальованої посидини і заливається гарячою кип'яченою водою, накривається кришкою і кип'ятиться протягом 15 хвилин, потім настоюється при кімнатній температурі протягом 45 хвилин, після цього проціджують. Одержані настої споживають 3 рази протягом дня по півтори склянки. Ці відвари можна приймати дорослим і дітям. Подаємо декілька варіантів приготування настоїв:

1-й варіант - 5 столових ложок плодів шипшини + 5 ст. ложок плодів малини.

2-й варіант - 5 столових ложок плодів малини + 5 стол. ложок брусники.

3-й варіант – 7 стол. ложок плодів горобини звичайної + 3 стол. ложки крапиви дводомної.

4-й варіант – 4,5 стол. ложок плодів шипшини + 1 стол. ложка плодів смородини чорної + 3 стол. ложки крапиви дводомної + 3 стол. ложки коренеплодів моркви червоної.

5-й варіант – 2,5 стол. ложки плодів шипшини + 2,5 стол. ложки плодів малини + 2,5 стол. ложки листя смородини чорної + 2,5 стол. ложки листя брусники.

Ефективність виведення радіонуклідів з організму залежить від стану імунної системи, загального стану здоров'я та фізіологічного стану організму, забезпеченості раціону вітамінами та мікро- й макроелементами

Контрольні питання

1. Вкажіть основні шляхи надходження радіонуклідів до організму тварин і людини.
1. Охарактеризуйте механізм захисту організму від проникнення радіонуклідів.

2. Назвіть речовини і продукти, які стимулюють виведення радіонуклідів з організму.
3. Вкажіть основні шляхи та механізми виведення радіонуклідів з організму.

9. ЗАСОБИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ, ҐРУНТУ, ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВІД РАДІОНУКЛІДНОГО ЗАБРУДНЕННЯ

9.1. Дезактивація харчових продуктів. 9.2. Зменшення забруднення в житлових приміщеннях. 9.3. Дезактивація ґрунту. 9.4. Очищення питної води.

9.1. Дезактивація харчових продуктів

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

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

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

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

Для створення безпеки проживання населення в умовах радіаційного забруднення території при постійному вживанні для харчування місцевих продуктів необхідно дотримуватись низки простих правил. Їх дотримання і

своєчасне здійснення виключає надходження до організму і накопичення радіонуклідів вище рівня допустимих норм.

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

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

Подальша переробка овочів і фруктів (соління, маринування тощо) зменшує вміст радіонуклідів у продуктах. При цьому розсоли і марінади вживати не рекомендується.

Картоплю перед використанням для харчування людини чи годівлі тварин необхідно ретельно очистити й відмити від ґрунту. Мити картоплю необхідно у проточній воді, якщо такої можливості немає, то воду у процесі миття двічі-тричі міняють. Очищення картоплі від лушпиння також значно знижує її радіоактивне забруднення. Після цих операцій вона може бути використана для харчування і для подальшої технологічної переробки (наприклад, для приготування крохмалю).

Коренебульбоплоди (буряки, морква, бруква, редиска, редька, корені петрушки тощо) перед використанням в їжу або подальшої переробки необхідно очистити від ґрунту і мити у проточній воді. Наступна обробка їх (варіння, соління) ще більшою мірою зменшує їх радіоактивне забруднення.

Огірки, томати тощо перед використанням необхідно ретельно мити у проточній воді.

Капуста, цибуля очищаються від верхнього листяю і перед використанням теж миються.

Фрукти та ягоди перед використанням ретельно миють. Їх переробка (приготування варення, соків, джемів) теж знижують вміст радіонуклідів.

Олійні культури при очищенні й переробці також знижують вміст радіонуклідів.

Зернові і зернобобові культури після очищення й обробки значно знижують вміст радіонуклідів. Горох, боби, квасоля після очищення можуть використовуватись для харчування людини без обмежень при забрудненні до 25 Кл/кг. За умови вищих доз забруднення використання цих культур не рекомендується.

Для зниження радіонуклідів у молоці можна його переробляти на молочні продукти. У домашніх умовах це роблять двома шляхами: обезжирення сироватки та сиру; виготовлення жирного сиру, а сироватку для харчування не використовують.

При переробці сметани і вершків на вершкове масло основна частина радіонуклідів залишається в пахті. А якщо вершкове масло перетопити, то радіонуклідів в ньому можна позбавитись практично повністю.

Радіоактивну забрудненість м'яса можна знизити, наприклад, шляхом його засолювання. При цьому найвищого ефекту досягають за умови, якщо м'ясо ріжуть на шматочки, а потім засолити, 2-3 рази змінюючи розсіл. Можлива також обробка м'яса проточною водою або 0, 85% розчином кухонної солі. Ефективність цього способу зростає зі збільшенням тривалості вимочування. Вимочування м'яса у воді, особливо підкисленій оцтом, лимонною чи іншими харчовими кислотами, виварювання протягом 10 хвилин з наступним відливанням рідини дає змогу зменшити вміст як ^{137}Cs , так і ^{90}Sr у 2-5 разів. Хоча ^{90}Sr переважно накопичується в кістках разом із кальцієм і, навіть за умови тривалого виварювання він, як і кальцій, до бульйону практично не переходить.

Одже, кулінарна обробка, очищення зерна, виробництво олії, одержання спирту, одержання крохмалю, одержання цукру, сепарація молока, очищення молока, виготовлення сирів та масла дозволяють значно знизити вміст радіонуклідів у продуктах харчування.

9.2. Зменшення забруднення житлових приміщень

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

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

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

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

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

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

Істотно знижує надходження радіонуклідів до приміщень з порохом, коли навкруги будинків висаджені дерева і кущі. Будинки, розміщені вздовж вулиць, слід відгоробжувати насадженнями дерев від проїзної частини.

До приміщень радіація може надходити і з будівельних матеріалів. Дерево, цегла, бетон виділяють невелику кількість радіації, а граніт і залізо – значно більше. Дуже радіоактивні глиноземи. Тому досить високу радіоактивність має червона глина, відходи виробництва алюмінію, домений шлак – відходи чорної металургії, пил попелу при спалюванні вугілля.

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

9.3. Дезактивація ґрунту

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

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

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

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

9.4. Очищення питної води

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

Можлива також обробка води хімічними препаратами, що зв'язуються з радіоактивними елементами і потім легко осаджуються.

Важливо також питну воду перекип'ятити та охолодити перед споживанням.

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

Контрольні питання

1. Вкажіть основні методи дезактивації житлових приміщень.
2. Опишіть способи дезактивації продуктів харчування.
3. Як проводиться дезактивація ґрунту?
4. Вкажіть методи дезактивації води.
5. Дезактивація ґрунту це роботи по:
 - внесенню органічних добрив;
 - здійснення заходів по зниженню радіаційного забруднення;
 - внесення мінеральних добрив.

10. ДІЯ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА РОСЛИНИ

10.1. Механізм прямої та посередньої дії радіації на клітинні структури і весь організм. 10.2. Етапи дії радіації. 10.3. Радіочутливість рослин у залежності від їх біологічних особливостей і фаз росту. 10.4. Вплив радіації на якість продукції рослинництва

Вищі рослини належать до IV каріотаксону, що відрізняється високою надійністю геному (понад 10^5 еВ. Така надійність геному зумовлена, головним чином, інтенсивними процесами диплоїдо специфічної репарації ДНК. Це обумовлює особливо високу їх радіорезистентність.

Рослини уражаються радіацією аерозольно (некореневим шляхом) і через ґрунт (кореневим шляхом). Радіоактивне ураження рослин проявляється гальмуванням росту, зниженням урожайності та репродуктивної функції, а при великих дозах – рослини гинуть.

Рослини по різному накопичують у собі радіонукліди. Найменш радіо-резистентними з вищих рослин є хвощі. Голки сосни починають жовтіти, а потім опадають за потужності поглинутої дози 0,1 Гр/добу (10 рад/добу або 35 Гр (3500 рад) за рік.

Для того, щоб дерево чи чагарники загинули від іонізуючого ураження, потрібно не тільки ін активувати клітини їхньої точок росту (кінчики коренів і паростків) а й знищити клітини камбію, які здатні давати початок новим точкам росту. Тому вони мають дуже високу виживаність.

Серед овочевих культур найбільшою мірою накопичує радіонукліди щавель. У зерні радіонуклідів накопичується значно більше, ніж в овочах. Ягоди накопичують радіонукліди в такому порядку: чорниця, буяхи, брусниця, малина, суниця.

Серед грибів високою інтенсивністю накопичення радіонуклідів виділяється польський гриб, моховик зелений, свинушка товста, хрящ чорний та молочний, маслюк звичайний.

10.1. Механізм прямої та посередньої дії радіації на клітинні структури і весь організм

Існує дві теорії пояснення процесів первинного радіаційного ураження клітинних структур: прямої і посередньої (побічного) дії радіації. Пряма дія радіації – це безпосередня передача енергії біологічно активним молекулам. Радіаційне ураження при цьому не обов'язково повино реалізуватися у місці поглинання енергії, оскільки можлива передача поглинутої енергії як у середині молекули, так і від однієї молекули до іншої.

Згідно теорії “мишені” ушкоджуюча дія корпускулярної радіації здійснюється тільки при влученні іонізуючих частинок у чутливий об'єкт клітини. Теорія прямої дії радіації дає більш широке біологічне пояснення ефекту радіаційного ураження клітини, ніж теорія “мишені”.

Теорія посередньої (побічної) дії передбачає взаємодію біологічно активних молекул з проміжними продуктами, що утворюються під впливом радіації. Згідно цієї теорії під дією радіації утворюються іони, радикали і перекиси, що взаємодіють з органічними молекулами і обумовлюють ураження клітин, тканин і органів організму рослин чи тварин.

Вільні радикали під впливом радіації утворюються унаслідок радіолізу води. При цьому у воді виникають радикали OH , H , HO_2 з наступним утворенням перекісей і гідроперекісей.

Підтвердженням непрямої дії радіації може бути той факт, що ті або інші хімічні речовини, конкуруючи з вільними радикалами, виконують захистну функцію і знижують або знімають біологічний ефект радіації.

Найбільш важливими захистними властивостями володіють речовини, що містять SH-групи, такі як цистеїн, цистамін, глутатіон та інші. Серед сільськогосподарських культур на вміст цих речовин багаті кошики соняшнику.

З точки зору теорії посередньої (побічної) захистна дія цих речовин обумовлена конкуренцією між протекторами і біологічними макромолекулами за вільні радикали. **Радіопротектори** – це хімічні речовини, що підвищують стійкість організму до радіації, здатні ослабити ушкоджуючу дію опромінення.

Радіобіологічні ефекти є результатом комплексу взаємопов'язаних і взаємообумовлених процесів, що протікають на молекулярному, надмолекулярному, генетичному і фізіологічному рівнях живої клітини і цілого організму.

Отже, причиною тих або інших змін, пов'язаних з дією радіації, може бути як сама радіація, так і побічні дії продуктів радіолізу.

Хімічні речовини клітини, що піддаються змінам під дією ферментів, називають біосубстратом. Він являє собою основний об'єкт впливу радіації.

10.2. Етапи дії радіації

Процеси розвитку дії радіації на біологічні об'єкти ділять на три етапи: **фізичний, хімічний і біологічний**. Перший етап дії радіації охоплює чисто фізичні явища взаємодії енергії випромінювання з речовиною (біологічним субстратом), здійснюючи іонізацію і збудження атомів і молекул. За умови поглинання дози у 1000 рад у клітині утворюється $10^6 - 10^7$ іонізованих і збуджених молекул. Біля 30% цих актів іонізації і збудження здійснюються на органічних речовинах клітини. Біологічний ефект опромінення значною мірою визначається кількістю води в клітинах. Для клітин рослин характерно більш значне коливання вмісту води, ніж для клітин тваринних організмів.

Дія радіації на біологічні об'єкти головним чином обумовлена іонізацією молекул. При іонізації утворюються іони і вільні радикали у наслідок дисоціації молекул води, неорганічних і органічних сполук. Отже, перший етап дії радіації є прямим актом дії радіації на молекули. Питома вага процесів збудження щодо радіобіологічного ефекту незначна. Перший етап дії радіації майже однаковий як у клітинах рослин, так і у клітинах тварин.

Другий етап дії радіації пов'язаний зі взаємодією енергії з речовиною і починається з моменту утворення в опромінених клітинах активних радикалів і перекисів, які енергійно вступають у хімічні реакції з молекулами інших клітин, які ще не уражені. Отже, тут радіаційний ефект обумовлений непрямою дією, а якби побічною. Другий етап дії радіації на клітини рослинних організмів, певною мірою, визначається поведінкою хлорофілу та значною кількістю вільного кисню, що утворюється при фотосинтезі.

Третій етап дії радіації на живу клітину обумовлює радіаційно-хімічні зміни у біосубстраті клітини як ядра, так і цитоплазми і обумовлює

ушкодження всіх структур клітини. При цьому у наслідок прямої і непрямой дії радіації відбувається зміна у молекулярних структурах ядер клітин, у хромосомному апараті, ДНК, РНК тощо. А ці процеси, у свою чергу, обумовлюють зміни процесів метаболізму, росту, розвитку і розмноження клітин. Потім спостерігається зміна фізіологічних функцій клітин, ураження ядерного апарату, порушення процесів росту, поява зовнішніх морфологічних аномалій і зміна генома.

Ураження ядерних структур можна виявити за зміною фізико-хімічних властивостей нуклеопротейдних комплексів, що призводить до порушення погодженого процесу ДНК – РНК – білок. Проникаючи до ядер клітини гідролітичні ферменти через уражені мембрани руйнують нуклеопротейдний комплекс ДНК і білки. Ушкодження унікальних генетичних структур (ДНК) обумовлює мутагенну дію радіації.

Ураження внутрішньоклітинних мембран може відбуватися за умови прямої дії радіації, виникнення вільних радикалів або під впливом активних речовин (радіотоксинів). Що утворилися у результаті зміни хімічних і біохімічних процесів у клітині під дією радіації.

Радіотоксини – токсичні білкові речовини, що виконують непередбачувані функції в уражених клітинах. Вплив радіотоксинів на унікальні генетичні структури і мембрани клітини є вторинним етапом дії радіації. Радіотоксини здатні активно взаємодіяти з дезоксирибонуклеопротейдами (ДНП, ДНК) і діяти на внутрішні мембрани клітин, викликаючи генетичні ефекти, у тому числі і таратологічні (виродства).

При дії на мембрани мітохондрій виникають порушення реакцій окислювального фосфорилування.

У результаті прямої і непрямой дії радіації можуть спостерігатись різні перебудови хромосом: розриви, перехрести та інші хромосомні аберації (перебудови). Наслідком цих процесів може бути порушення клітинного поділу, мутації, зміна спадковості. Клітина найбільшою мірою чутлива до радіації на початку профазі – початкова стадія ядерного циклу, коли стають помітними хромосомні нитки і зникає оболонка ядра.

Таким чином, дія радіації на клітину призводить до порушення не тільки метаболізму і фізіологічних функцій живого організму, але і до генетичних наслідків.

Ураження генетичного матеріалу відбувається у результаті прямої дії радіації на хромосоми, їх розриви, а також хімічних процесів, що виникають під впливом радіації (іонізації, утворення вільних радикалів та перекісів).

Хромосомні аберації діляться на два етапи. На першому етапі хромосома розривається на дві чи декілька частин (фрагментів), а на другому етапі ці фрагменти з'єднуються, при цьому може з'явитися ряд їх модифікацій. Потім спостерігається порушення мітозу (ділення) клітин.

Радіація впливає і на цитоплазму клітини, але для здійснення тих чи інших актів біологічного ефекту потрібні приблизно у двадцять разів вищі дози опромінення у порівнянні з опроміненням ядра.

Отже, клітина реагує на дію радіації як одне ціле., але різні її структури характеризуються різною чутливістю, включенням у дію механізму репарації, що досить ефективно спрацьовує при незначних дозах опромінення. В організмі рослин і тварин немає клітин, які абсолютно толерантні до радіації.

10.3. Радіочутливість рослин у залежності від їх біологічних особливостей і фаз росту

Радіація викликає у рослин різні реакції. Кінцевий результат дії радіації на клітини і тканини рослинного організму може проявитися патологічними реакціями. Рівень радіаційного ураження, перш за все, залежить від дози радіації за одиницю часу, її тривалості та характеру опромінення, від віку, фізіологічного стану рослин та умов зовнішнього середовища.

Чутливість різних організмів рослин до дії радіації варіює у дуже широких межах як між таксономічними групами (класи, сімейства, роди), так і у середині цих груп, тобто між видами, різновидностями, сортами і навіть окремими ідивідами.

За умови гострого опромінення (короткочасного, але великими дозами) ураження проявляються при менших дозах, ніж при хронічному опроміненні. Гостре опромінення дуже гальмує ріст рослин, наприклад, сосна за таких умов росте майже у 30 разів гірше, а гине при дозі у 16 разів меншій, ніж при хронічному опроміненні.

За умови хронічного опромінення важливе значення має загальна доза опромінення, накопичена протягом митотичного циклу, на тривалість якого впливає температура навколишнього середовища. При високій температурі клітини діляться швидше, ніж при низькій.

Боби квасолі відзначаються високою радіочутливістю, доза в 10 Р/хв вже гальмує її ріст. Ячмінь реагує на γ -опромінення тільки при дозах 50 Р/хв і вищих. Радіочутливість рослин різних видів, різновидностей і сортів може відрізнятись в 100 і більше разів. Більш старі у філогенетичному ряду рослини є більш стійкими до радіації, ніж еволюційно молоді форми.

Рівень ураження рослин радіацією залежить від багатьох факторів, які можна поділити на три основні групи: 1. Генетичні, 2. Фізіологічні, 3. Умови навколишнього середовища.

До генетичних факторів відносяться видові і сортові особливості рослин, що, головним чином, визначаються цитогенетичними показниками (розміри ядра та хромосом, кількості ДНК). Об'єм клітинних ядер вказує на вміст ДНК, кількість хромосом. Поліплоїдні види більш стійкі до дії радіації, оскільки вони мають надлишок ДНК.

До фізіологічних факторів відносять фази і стадії розвитку рослин і обмін речовин рослинних організмів. Перш за все слід відмітити швидкість росту, що пов'язана з інтенсивністю поділу клітин. Рослини з інтенсивним ростом мають вищу радіочутливість, ніж рослини з повільним ростом. За умов хронічного опромінення, навпаки, чим вища енергія росту, тим менше пригнічуються рослини.

До факторів навколишнього середовища відносять погодно-кліматичні умови під час опромінення, умови мінерального живлення рослин тощо.

У якості критеріїв оцінки дії радіації на рослини використовують наступне: пригнічення мітотичної активності при клітинному поділі, відсоток уражених клітин протягом першого мітозу, число хромосомних аберацій на одну клітину, відсоток схожості насіння, депресія росту і розвитку рослин, радіоморфізм, відсоток хлорофільних мутацій, виживання рослин та урожайність.

Протягом росту і розвитку рослин їх радіочутливість змінюється. Це обумовлено тим, що у різні періоди онтогенезу рослини відрізняються не тільки морфологічною будовою, але різноякісністю клітин, тканин, а також характерним для кожного періоду фізіолого-біологічними процесами.

Радіація обумовлює ушкодження у рослин тих органів і зміщення процесів, які формуються й інтенсивно протікають у момент опромінення. У залежності від величини дози опромінення ці зміни можуть бути стимулюючими або уражаючі.

Критичними до дії радіації у рослин є меристематичні (твірні, ті, які діляться) та ембріональні тканини.

Всі рослини мають вищу радіочутливість у перший період вегетації. Опромінення рослин у цей період гальмує ріст, порушує взаємопогодженість фізіологічних функцій, що визначають формоутворюючі процеси. За умови доз опромінення, що перевищують їх критичний рівень (критичні дози для пшениці, ячменю і гороху становлять 3 кР) для певної культури (LD_{70}), у всіх випадках спостерігається відмирання головного пагона злакових рослин.

Опромінення рослин у період формування материнських клітин пилку (мейоз) може призвести до значної стерильності й зниження врожаю.

Радіочутливість озимих культур у осінньо-зимово-весняний період знижується. Це можна пояснювати погодно-кліматичними умовами та фізіологічним станом рослин.

Всі зернові культури мають максимальну радіочутливість у фазі виходу у трубку. Більш низьку радіочутливість мають рослини у фазі кушіння.

Опромінення рослин у період молочної стиглості не викликає помітного підвищення стерильності колосків.

За умови опромінення рослин у період від сходів до початку цвітіння врожайність знижується на 50% за таких доз (Р):

- горох, озиме жито	2000
- пшениця, ячмінь, овес	3000
- соняшник	5000
- гречка, просо, томати	5000
- льон	10000
- картопля	15000
- цукрові буряки, турнепс	20000
- капуста, морква, столові буряки	25000

Відносно високу радіочутливість мають картопля, коренебульбоплоди, льон, квасоля. Радіочутливість у 2-3 рази може залежати від сорту, а від періоду онтогенезу – у 1,5-15 разів.

Радіочутливість рослинності пасовищ певною мірою визначається розміщенням критичних органів у ґрунті (вузлів кушіння, конусів наростання, бруньок поновлення) та глибини, що забезпечує значне ослаблення β -радіації.

10.4. Вплив радіації на якість продукції рослинництва

Під впливом радіації харчові (смак, запах, колір, консистенція) і технічні властивості рослинництва (зерно, фрукти, овочі, олійні культури, коренебульбоплоди), що одержують із забруднених радіонуклідами територій і опромінених рослин помітно не змінюються, навіть при зниженні врожаю на 30-40% у порівнянні до контролю. Але опромінені харчові й кормові продукти стають джерелом інкорпорованої радіації, що завдає значної шкоди здоров'ю людини і тваринам.

Вміст білку і клейковини в зерні пшениці на одиницю маси не знижується, хоча загальний вихід зменшується в наслідок зниження врожаю. Вміст олії в насінні соняшнику і льону залежить від дози опромінення рослин й фази їх розвитку в момент початку опромінення. Найбільше зниження вмісту олії в насінні соняшнику (на 8-27%) спостерігається при опроміненні рослин у фазі генеративного розвитку дозами 3-10 кР. Аналогічна закономірність спостерігається і щодо виходу цукру опромінених буряків, врожайності картоплі.

Вміст вітаміну С у помідорах, зібраних з опромінених рослин, також залежить від фази розвитку рослин у період початку і дози опромінення.

Опромінення рослин не тільки обумовлює зниження їх врожайності, але й знижає їх посівні якості. Так, при опроміненні картоплі одержують бульби зі стерильними вічками. Опромінення зернових культур на початку молочної стиглості (коли формується зерно) майже не впливає на врожайність, але таке

зерно має дуже низьку схожість. Посівні якості пшениці, жита, ячменю при опроміненні в період колосіння, цвітіння і у фазі молочної стиглості. Бобові втрачають схожість насіння при опроміненні у період цвітіння. Картопля втрачає схожість, коли її опромінюють у період цвітіння і бульбоутворення.

Окрім відміченого, опромінення рослин може значною мірою впливати на їх продуктивні і біологічні спадкові ознаки, змінити їх стійкість до негативних факторів навколишнього середовища.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте механізм прямої та посередньої дії радіації на клітинні структури і весь організм.
2. Вкажіть етапи дії радіації.
3. Обґрунтуйте радіочутливість рослин у залежності від їх біологічних особливостей і фаз росту.
4. Поясніть вплив радіації на якість продукції рослинництва.

11. РАДІАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ТВАРИННИЦТВІ ТА ВЕТЕРИНАРНІЙ МЕДИЦИНІ

11.1. Радіаційні технології у тваринництві. 14.2. Радіаційні технології у ветеринарній медицині. Контрольні питання

11.1. Радіаційні технології у тваринництві

Використання радіації для знезараження матеріалів горючих, рідких, газоподібних, об'ємних. Зручно використовувати радіацію для знезараження рідин, горючих матеріалів, газоподібних речовин тощо. Наприклад, у структурі сучасного тваринництва значна питома вага великих ферм, комплексів, де одночасно утримують тисячі голів великої рогатої худоби, свиней, овець, птахів. Щорічно на таких фермах накопичуються тисячі тон гною, відходів, які містять велику кількість збудників інфекційних та інвазійних захворювань. Ці збудники захворювань у гної, стоках можуть зберігати свою життєздатність і вірулентність протягом декількох місяців. Тому на таких фермах виникла

необхідність розробити ефективні й економічні заходи знезараження і знешкодження гною та стоків тваринницьких ферм. Ця задача може успішно вирішуватись з допомогою радіаційної техніки.

Радіація здійснює різноманітну дію на гній та стоки. Перш за все під впливом радіації спостерігається пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів, яєць гельмінтів. При опроміненні рідкої фракції гною свиней дозами 1,5-2 Мрад спостерігається знешкодження мікроорганізмів. А якщо до стоків додати хлор, що є сенсibilізатором, то такого ефекту можна досягти дозами радіації на порядок нижчими. Радіація згубно діє на гельмінтів та їх яйця. При опроміненні гною дозами 20-50 нрад спостерігається пригнічення розвитку гельмінтів, а деякі їх види гинуть. При використанні доз радіації 100-150 нрад гельмінти гинуть практично всі.

У США, Японії, Франції, Швеції створені й запатентовані різноманітні радіаційні пристрої для знезараження гною і стоків. У більшості з них використовується випромінювання, що володіє високою проникливою здатністю.

Але при використанні радіації виникає необхідність створювати захисні заходи, що вимагає матеріальних витрат. Тому порівняно висока собівартість обробки 1 м³ стоків та гною з використанням γ -радіації.

Більш перспективним і дешевим буде використання для знезараження гною і стоків β -радіації, де джерелом іонізації будуть прискорені електрони. Такий пристрій вже використовується на свинокомплексі "Боровляне" Мінської області (Білорусь). Цей пристрій ИЛУ-6 з енергією електронів до 2,5 МеВ, виготовлений вченими ЦНДІ механізації і електрофікації. Також був апробований спосіб обробки стоків прискореними електронами з використанням типового прискорювача ЕОЛ-400Н. Вносились пропозиції розробити мобільний пристрій для обробки гною і стоків на комплексах 27, 50 тисяч і більше свиней.

Використання радіації у кормовиробництві. У кожній країні світу щорічно накопичуються мільйони тон соломи, тирси деревини, різних органічних відходів тваринництва. Всі ці матеріали мають високий вміст целюлози і низьку поживну цінність. Традиційні методи гідролізу целюлозовмісних матеріалів трудоємкі, енергоємкі і мають інші недоліки. Тому проблематично розробляти економічно, екологічно чисті і ефективні методи переробки малоцінних відходів у корми, які б могли широко використовуватись.

Свого часу такі комплексні дослідження проводились у Беларусі, ряді НДІ бувшого СРСР. Результати цих досліджень показували перспективність використання β -радіації у кормовиробництві. Оскільки під впливом радіації у соломі, тирсі, сфаговому торфі збільшується вміст вуглеводів, які є водорозчинними і легко гідролізуються. Після радіаційної обробки тирси з деревини сосни їх здатність забезпечувати розвиток міцеліальних грибів зростає у 4-5 разів.

Спеціальними дослідженнями встановлено, що радіаційна обробка прискореними електронами соломи, фуражного ячменю, гранул підвищила їх якість, поїдання, перетравлювання і засвоєння поживних речовин. У тварин великої рогатої худоби на відгодівлі підвищився добовий приріст живої маси.

Проводяться дослідження по використанню гною свиней після радіаційної обробки на корм жуйним тваринам. Основні проблеми цих досліджень – високе мікробне обсіменіння гною свиней (до $3,4 \cdot 10^8$ мікробних тіл у 1 мл), його висока вологість та наявність неприємного запаху. Хоча ці недоліки можна, певною мірою, усунути, піддаючи його радіації, змішуванням гною свиней з сухою соломою; вітамінами та мікроелементами, збагачення його амінокислотами тощо.

Важкі метали акумулюються, наприклад, в яловичині, в різній кількості, при цьому концентрація свинцю, кадмію і ртуті у продукції часто перевищують нормативні вимоги за умови ведення тваринництва на забруднених територіях.

Встановлена тенденція до пониження радіонуклідів у яловичині коли раціони годівлі тварин збалансовані по перетравному протеїну.

Використання радіації при консервуванні продукції тваринництва. Високі дози радіації згубно діють на мікрофлору. Це обумовило прагнення використовувати радіацію при розробці і удосконаленні технологій консервування продукції тваринництва. Так, при опроміненні м'яса і м'ясних продуктів у них різко знижується вміст мікрофлори, що дозволяє подовжити терміни зберігання їх у звичайних холодильниках у 3-5 разів.. Строки зберігання м'яса при температурі 20°C можуть бути збільшені до 5 місяців якщо воно піддається попередньому обжарюванню, упаковці у полімерні пакети під вакуумом, а потім піддається дії γ -опроміненню. Одночасно з цим відбувається знезараження м'яса від сальмонел.

При опроміненні м'яса і м'ясних продуктів дозою 1,5-3 Мрад хоча і відмічається майже повна стерилізація продукції, але за умови тривалого зберігання у ній з'являється характерний запах і присмак, обумовлений головним чином розпадом ліпідів та сірковмісних білків. Цього можна уникнути, якщо за добу до забою тваринам вводити адреналін, що забезпечує зниження інтенсивності окислювальних процесів у м'ясі і підвищення його якості.

Розробляються технології використання радіації при консервуванні ячного меланжа. Опромінення меланжа дозою 0,6 Мрад практично не впливає на його органоліптичні властивості, а при зберіганні протягом 5 місяців продукт відповідав стандарним вимогам.

Дослідження ряду наукових установ показали, що радіаційна обробка м'яса, риби, м'ясних і рибних продуктів призводить до утворення в них шкідливих речовин (радіотоксини).

11.2. Радіаційні технології у ветеринарній медицині

Використання радіації як стерилізуючого фактору. Радіація може знайти особливо широке застосування як стерилізуючий фактор в медицині і ветеринарній медицині в асептиці й антисептиці. Радіацію можна використовувати при обробці шкір, шкіряної сировини, вовни (в Австралії радіопристрій для стерилізації тюків вовни використовується з 1960 року). Так, свіжі шкіри убитих тварин, оброблені радіацією дозою 1 Мрад, можуть протягом 12 днів зберігатися у звичайних умовах без застосування хімічних засобів консервації. Радіацію можна використовувати для обробки пушно-хутрової сировини, опромінення її γ -радіацією дозою 1-1,5 Мрад не впливає на фізико-хімічні властивості хутра.

Використання радіації при виготовленні вакцин. У медичній та ветеринарній практиці для боротьби з вірусними хворобами широко використовують різні вакцини. З метою вакцінації застосовують як живі вакцини, які створюють тривалий і напружений імунитет, так й інактивовані, які хоча і не володіють такими якостями, але більш безпечні і значно рідше викликають поствакцинальні ускладнення.

При виробництві вакцин для інактивації патогенних властивостей вірусу використовують різні фізичні (температура, тривалість витримки) і хімічні (насичення киснем чи витримка в анаеробних умовах) фактори, серед яких певне місце займає використання радіації (опромінення).

Інактивує дія радіації спостерігається при опроміненні збудників інфекції у дозах декількох сот килорад. Так, повна інактивація вірусу сказу настає при опроміненні дозою 0,8 Мрад, а інактивація вірусу хвороби Ауескі – при опроміненні дозою 0,9 Мрад.

Радіочутливість збудників різних хвороб варіює у широких межах. Так, повна інактивація збудника рожи свиней спостерігається при γ -опроміненні дозою 0,2 Мрад, сальмонельоза – 0,4 Мрад, а спори сибірської виразки інактивуються лише при опроміненні дозою 1,1 Мрад.

Вже протягом декількох десятків років розробляються радіаційні технології виробництва вакцин проти гельмінтів. При враженні тварин гельмінтами у них вже протягом першого тижня спостерігається імунологічна перебудова, розвивається стійкість до повторного ураження. Неодноразово спостерігались факти ефективної імунізації тварин, яким вводили ослаблені дією радіації, але не інактивовані повністю, личинки. Наприклад, через 35 днів після зараження телят личинками дихтикаульозу (4000 личинок кожній тварині) після забою в легенях телян, яким вводили неопромінені личинки, виявили у середньому по 906 личинок, а у телят, яким вводили личинки опромінені дозою 20 та 40 крад – лише по 4 та 2. А після введення телятам личинок, опромунених дозою 60 крад, їх у легенях не було виявлено.

Протягом певного часу після введення нормальних і ослаблених личинок у телят проявляється досить чіткій імунитет. За умов повторного введення (через 85 днів) у легенях імунізованих телят, забитих через 50 днів після

введення нормальних личинок, у легенях виявлялось лише 11-16 статевозрілих глистів, тоді як у телят не імунізованих було 1200 і 920 глистів.

Розробка радіаційних технологій одержання вакцин проти різних видів гельмінтів знаходиться на рівні наукових досліджень. Але, вже є приклади виробництва вакцин проти дихтиокаульозу овець (Сербія), апробована вакцина проти дихтиокаульозу великої рогатої худоби (Англія).

Для *діагностики* стану кісткової системи, а також більш м'яких тканин в конярстві використовують *рентгенографію*. Рентгенографія дозволяє виявити незначні структурні зміни, які ще не виявляються клінічно. У ряді країн рентгенографію використовують при комплексному ветеринарному обстеженні кінцівок, як завершальний етап обстеження коня.

Контрольні питання

1. Вкажіть досягнення використання радіації у кормовиробництві.
2. Опишіть практику використання радіації для знезараження гною і стоків .
3. Вкажіть основні напрямки застосування радіації у медицині та ветеринарній медицині.
4. Опишіть використання радіації при консервуванні продукції тваринництва.

12. ЧОРНОБИЛЬ

12.1. Сторінки історії і причина аварії. 12.2. Аварія на ЧАЕС. 12.3. Наслідки аварії на ЧАЕС. 12.4. Філософія подій.

До теми аварії на Чорнобильській АЕС ми повертаємося з метою, щоб звернути увагу, зокрема, на такі питання:

- що і як позитивно змінилося з цієї проблеми протягом років після аварії;
- чи знизився рівень глобального і локального ризику на випадок аналогічних аварій;
- чи зріс рівень захищеності населення від радіаційного ураження на випадок аналогічних аварій;
- чи зріс рівень знань і вмій населення щодо дії в умовах радіаційної небезпеки;
- чи підвищився рівень проінформованості й обізнаності населення України, як факторів озброєності щодо радіації тощо.

Навіть за нормальних умов будівництва і експлуатації атомних електростанцій здійснюється значний фізичний, хімічний, радіаційний вплив на довкілля, зокрема:

- локальний механічний вплив на рельєф при будівництві;
- стоки в водосховища, ріки, ґрунтові води, які містять радіоактивні й хімічні компоненти;
- зміна характеру землекористування у безпосередній близькості від АЕС;
- зміни мікрокліматичних характеристик прилеглих регіонів;
- викиди тепла в градильні й охолоджувачі, що обумовлює теплове забруднення середовища;
- викиди газів і аерозолів у атмосферу (викиди можуть бути постійні контрольовані і аварійні) тощо.

Хоча як перевага атомної енергетики відмічається наступне: кількість розсіяного тепла АЕС на одиницю корисної потужності менша, ніж при роботі звичайних електростанцій; вищий коефіцієнт корисної дії; використання атомної енергії не вимагає витрат кисню і не призводить до безперервного зростання вмісту вуглекислого газу в атмосферному повітрі.

12.1. Сторінки історії і причини аварії

Техніка одержання електричної енергії належить англійському фізику Майклу Фарадею (1831 рік), а першу електростанцію збудував американський винахідник Томас Едісон у 1880 році.

Привабливість атомної енергетики полягає в тому, що енергія повного розпаду 1 г урану-235 еквівалентна теплу, що міститься в 2,8 т кам'яного вугілля. АЕС, потужністю 1000 МВ протягом року споживає до 28 т ядерного палива, а тепла станція такої ж потужності – до 3,5 млн т кам'яного вугілля.

Принцип роботи АЕС і теплової станції полягає в тому, щоб одержувати теплову енергію, яка нагріває пар, а він крутить турбіни сполучені з генератором. Різниця полягає лише в способі одержання теплової енергії.

Найкрупніші АЕС світу; Фукусіма в Японії (10 енергоблоків), Брюс у Канаді (7 енергоблоків), Запорізька в Україні (6 енергоблоків), Гравелен у Франції (6 енергоблоків), Полюель у Франції (4 енергоблоки).

- Всі апарати для одержання електричної енергії можна умовно ділити на такі:
- Теплові електростанції – вони перетворюють різні види енергії в енергію нагрітого теплоносія (головним чином води), який, у свою чергу, передає енергію на турбіни, що виробляє електричний струм. До цього виду відносяться вугільні, газові, атомні, сонця та станції, що працюють на нафті.
 - Гідроелектростанції – перетворюють енергію води, що рухається, в електричну, передаючи її безпосередньо на турбіну. До таких станцій відносяться гідр- та приливні.

- Електростанції, що виробляють електричний струм безпосередньо, перетворюючи енергію вітру, сонця з допомогою фотоелементів.

Станом на 2005 рік у світі було 444 діючих і один зупинений (Чернобильська АЕС зупинена 15 грудня 2000 року) ядерних реакторів, що виробляють 16% глобального обсягу електроенергії. Понад 30 країн світу використовують ядерну енергію для одержання електроенергії. В Україні 14 діючих реакторів.

Всі АЕС здійснюють на довкілля механічну, теплову, хімічну і радіаційну дії. Питання про небезпечність ядерної енергетики стало зрозумілим для широкого загалу після аварій на атомних електростанціях Віндскейлі (Великобританія) та на хімічному комбінаті “Маяк” (Киштимська аварія в Росії) у 1957 році, на АЕС Три Майл-Айленд (Пенсільванія, США) у 1979 році, Чернобильській (Україна) у 1986 році, на заводі з переробки ядерних відходів у Токаймурі (Японія) у 1999 році. З публікацій, зокрема М. Проніна, відомо, що, наприклад, з 1971 по 1984 роки на атомних станціях ФРГ спостерігалось 151 аварія. В Японії на 37 діючих АЕС з 1981 по 1965 роки зареєстровано 390 аварій, 69% яких супроводжувались радіоактивними викидами. У 1985 році в США зафіксовано 3000 неполадок у системах і 764 тимчасові зупинки реакторів АЕС.

Перша в СРСР Обнинська АЕС почала працювати у червні 1954 року. На території СРСР працювало 57 реакторів РМБК, з них 29 – на його європейській території.

15 березня 1966 року технічною радою Міністерства енергетики і електрифікації СРСР було прийнято рішення про будівництво Центрально-Української АЕС на території села Копачі Чернобильського району, Київської області. Постановою ЦК КПУ і Ради Міністрів УРСР від 2 лютого 1967 року Центрально-Українську АЕС було перейменовано на Чернобильську АЕС. У травні 1971 року розпочалось будівництво першого енергоблоку.

Перший енергоблок Чернобильської АЕС (за 130 км від Києва) був запущений 27 вересня 1977 року. І вже на той час відчувалась нехватка кваліфікованих кадрів, спостерігалось зниження якості робіт, матеріалів та обладнання, що виготовлялося.

Другий енергоблок ЧАЕС був збудований за рекордно короткий термін – всього протягом одного року. У 1981 році почав працювати 3-й енергоблок, а в 1983 році - четвертий. Після запуску 4-го енергоблоку потужність ЧАЕС досягла 4 мільйон кіловат. Третій і четвертий енергоблоки розміщувалися не окремо один від одного, як пеший і другий, а в одному приміщенні, і і розділялися лише внутрішніми стінами.

У ці роки визріло рішення про будівництво п'ятого і шостого енергоблоків, а в перспективі довести їх кількість до дев'яти реакторів. Хоча вже в будівництві попередніх було багато помилок і недоліків. З перших днів роботи АЕС почали траплятися не стандартні ситуації Тільки в 1980 році 8

разів зупиняли енергоблоки, зокрема з вини проектних організацій – два рази, заводів постачальників – три рази, обслуговуючого персоналу – три рази.

Невдало було вибрано місце для будівництва ЧАЕС. Наприклад, по-перше, геофізик Е.В. Барковський зауважував, що ЧАЕС споруджено на розломі земної кори у долині річки Прип'ять; по-друге, в 1530 році в цьому районі спостерігався руйнівний землетрус; по-третє, поруч знаходяться великі поліси (Київ, Чернігів, Житомир, Гомель); по-четверте, це густо заселений регіон, з родючими ґрунтами й інтенсивним веденням сільського господарства.

У березні 1986 року на ЧАЕС працювала урядова комісія щодо п'ятого енергоблоку, запуск якого планувався на 1986 рік, але строки його запуску зривалися. Не зважаючи на це, директор ЧАЕС почував себе добре, оскільки у 1985 році станція виробила рекордну кількість електроенергії. Його обрали делегатом партійного з'їзду і представили до нагороди зіркою Героя Соціалістичної праці, а станцію – до нагороди орденом Леніна.

На 5 травня 1986 року планувалось розпочати монтаж конструкції до шахти реактора 5-го енергоблоку.

О 3-ій годині ночі 26 квітня 1986 року спеціальним кодом (інформація щодо подій на атомних об'єктах була секретною) чергова по Міністерству повідомила, що на 4-му енергоблоці ЧАЕС сталась аварія, а як всі зрозуміли – пожежа.

Біля четвертої години ранку в Міненерго СРСР зібрались спеціалісти-атомники з аварійної групи. Більшість з них добре знали конструкцію реактора, стан на АЕС країни, а також можливі аварійні ситуації, що виникали на тих або інших АЕС і передбачались проектами. А тому кожний з них спробував переговорити з директором ЧАЕС Брюхановим.

Брюханов повідомив, що відбулось два вибухи. Але чому? Поки що нічого не ясно. Обвалилась покрівля реактора і частково машинної зали. Виникли два осередки пожежи у приміщеннях і на покривлі турбінної зали. Реактор 4 та 3 енергоблоків заглушили. Директор станції підтвердив, що відхилень радіаційної ситуації не спостерігається. Але події розвивалися стрімко і приховати стан йому не вдалося.

Події, що обумовили аварію, розпочалися вранці 25 квітня 1986 року. За програмою, розробленою заздалегідь, планувалось зупинити 4-й енергоблок і провести експеримент, мета якого полягала в тому, щоб визначити, протягом якого часу турбінні генератори за інерцією вироблятимуть електроенергію і приведуть у дію водяні помпи для охолодження реактора після того, як буде припинено нормальне постачання електроенергії.

О 5-й годині ранку члени аварійної групи доповіли міністру А. Ма-йорецу, що, вірогідно, вибух стався через те, що загорівся водень. Таке траплялось на АЕС і раніше. Але від Брюханова надійшла нова інформація, що пожежа спостерігається у багатьох місцях, є жертви, одна людина одержала смертельні опіки, ще одна зникла – очевидно загинула, до медпункту надходять

люди з ознаками радіаційного ураження, виявлені на подвір'ї станції графітові блоки.

Якщо є людські жертви, то характер аварії різко змінювався. Такий був принцип радянської системи. За таких випадків належало повідомляти найвищому керівництву. Але міністр вирішив зачекати до ранку, хоча зразу ж підписав наказ про створення комісії по розслідуванню причин аварії. Було прийнято рішення, що комісія терміново вилітає до Чорнобіля.

О 6-й годині ранку директор ЧАЕС повідомив, що на подвір'ї станції виявлені графітові блоки і, що до медпункту почали доставляти людей з ознаками радіаційного ураження.

У Москві до цієї інформації віднеслися з недовірою. Вирішили, що це не радіація, а отруєння газами, які утворюються при горінні покрівлі. Але від директора АЕС надійшло повідомлення, що рівень радіації в окремих місцях перевищує норму, хоча конкретні цифри не називалися.

Нині головними причинами цієї катастрофи визначаються наступні:

- некомпетентність персоналу;
- втрата почуття відповідальності керівного складу при проведенні експерименту;
- недоліки в конструкції реактора РБМК-1 (нині в світі використовують п'ять типів ядерних реакторів: ВВЕР – водо-водяний енергетичний реактор; РВПК – реактор великої потужності канальний; реактор на важкій воді; реактор з шаровим засипанням і газовим контуром, реактор на швидких нейтронах);
- прагнення зробити все дешевше, у рекордно короткі терміни.

Отже, основною причиною, що обумовила катастрофу на ЧАЕС 26 квітня, як і всіх попередніх аварій на АЕС країн світу, був людський фактор. Але уберезні 2011 року землетрус в Японії і аварії на АЕС «Фукусима-1» висунув новий фактор аварій – природний, який передбачити запобігти значно тяжче, ніж людський фактор.

Варто звернути увагу і на те, чи правильно був здійснений вибір території для будівництва ЧАЕС, чи були враховані наступні екологічні фактори:

- вплив об'єктів АЕС на довкілля у випадку надзвичайних ситуацій;
- аналіз можливого збільшення впливу доз радіації на населення та об'єкти природи;
- підрахунки і відшкодування збитків, завданих довкіллю, внаслідок відчуження земель і зміни природного середовища під час будівництва та експлуатації АЕС;
- наявність (відсутність) негативного впливу на природні водойми;
- наявність (відсутність) червонокнижних, рідкісних видів тваринного і рослинного світу, природоохоронних об'єктів, історико-археологічних цінностей, пам'ятників природи;
- наявність (відсутність) цінних біологічних ресурсів, які використовуються або можуть бути використані під час експлуатації об'єкту;

- оцінка прибутковості (неприбутковості) використаних земель та водойм в аграрному виробництві;
- рекреаційне значення територій;
- близькість великих міст;
- природно-кліматичні умови тощо.

Еколого-економічні критерії вибору територій для будівництва АЕС займають важливе місце при підрахуванні їх прибутків та збитків.

Чорнобильська АЕС була збудована в СРСР, а її проблемами нині опікаються ООН (програма з навколишнього середовища), ЮНЕСКО (понад 70 проектів), Всесвітня організація охорони здоров'я (ВОЗ), Радіологічні центри в Києві, Москві, Мінську. Отже, атомна енергетика значення має локальне, а проблеми створює глобальні.

12.2. Аварія на ЧАЕС

Радіаційна аварія - незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, при якій відбувається втрата контролю над джерелом випромінювання і реальне (або потенційне) опромінення людей. За період з 1951 по 1986 роки офіційно зареєстровано у різних країнах світу близько 20 аварій на атомних електростанціях.

Аварії неможна планувати у часі, складно завчасно вжити ефективні заходи. Вони несуть важкі наслідки для життя і здоров'я людини, непередбачуванні екологічні і економічні наслідки.

Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи:

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

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

Аварії першої групи супроводжуються додатковим зовнішнім γ -, рентгенівським, β - і нейтронним опроміненням людей.

Аварії другої групи супроводжуються додатковим зовнішнім і внутрішнім опроміненням людей.

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

- промислові;
- комунальні.

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

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

Комунальні радіаційні аварії поділяють на:

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

У розвитку комунальних аварій виділяють три основні часові фази:

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

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

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

Протирадіаційний захист населення в умовах радіаційної аварії базується на системі контрзаходів, які практично завжди є втручанням у нормальну життєдіяльність людей, а також у сферу нормального соціально-побутового, господарського і культурного функціонування територій.

При реалізації контрзаходу, як правило, відвертається не вся доза від аварійного джерела. Деяка її частка зберігається, це так званій залишковий (невідвернутий) рівень дози опромінення, запобігання якої даним контрзаходом стає неприйнятним тому, оскільки суттєво збільшується збиток.

Залежно від масштабів і фаз радіаційної аварії, а також від рівнів прогнозованих доз опромінення контрзаходи умовно поділяють на термінові, невідкладні та довгострокові.

Вночі з 25-го на 26-те квітня 1986 року на чотирьох блоках ЧАЕС працювало 176 осіб – черговий персонал і ремонтні служби. На 5-у і 6-у блоках, що будувалися, працювало 268 осіб будівельників та монтажників. Декілька десятків осіб ловили рибу на берегах ставка-охолоджувача. Всі вони стали свідками того, як о 1 годині 23 хвилини пролунали два вибухи. Над четвертим енергоблоком на фоні чорного неба було видно розпечені куски, іскри, сполохи полум'я. Здргнулися і прогнулися товсті залізобетонні стіни, у потоці пару

лопнули і рвонулися вверх трубопроводи, на даху в багатьох місцях почалася пожежа. Над реактором виникло оранжеве сяйво.

26 квітня о 1-й годині 23 хвилини, тобто через добу, як почалася підготовка до експерименту, подачу пари до турбоагрегату припилили. І майже відразу робота охолоджувальних систем уповільнилась, а потік води до осердя реактора різко зменшився. За нормальних умов тієї ж миті повина б спрацювати система автоматичного виключення реактора, але вона разом з п'ятьма іншими аварійними механізмами була від'єднана для проведення експерименту. За лічені секунди температура в осерді реактора різко підвищилася, спричинивши безперервну ланцюгову реакцію. Четвертий реактор ЧАЕС вибухнув. Вибухів сталося два з інтервалом у три секунди. Перший вибух обумовила пара, а другий – пара і водень, що утворився за умови, коли оболонка паливних стержнів почала плавитися і реагувати з водою у камері високого тиску. Осердя розірвалося на частини, а тисячотонна покрівля реактора злетіла вгору і пробила дах. Смертоносна хмара радіоактивного матеріалу здійнялася у повітря, утворивши заграву. Під дією високої температури і при доступі свіжого повітря графітний уповільнювач зайнявся. Радіоактивна вода ринула до машинної зали. Спалахнуло понад 30 окремих вогнищ. Викид продуктів розпаду і палива до навколишнього середовища сягав понад 50 МКв. На відстані 5-10 км на північ від реактора рівень радіації на 27 квітня становив 1000 Мрад, а забруднення поверхні землі перевищувало доаварійні рівні в понад 100 разів і більше.

У зруйнованому реакторі тривала ланцюгова реакція, тому викиди радіонуклідів були дуже інтенсивними протягом 10 діб, поки жерло, через яке виривалась радіація, не було засипано. Радіонукліди зі зруйнованої активної зони потрапили до навколишнього середовища і за “допомогою” пожежі та вітру розповсюдились не тільки навколо реактора, але й далеко за межами ЧАЕС. У складі викидів були практично всі хімічні елементи середньої частини таблиці Менделєєва.

Через кілька хвилин на місце аварії прибула пожежна команда ЧАЕС – 28 осіб на чолі з майором Леонідом Телятниковим (1951-2004), який оголосив тривогу 3-го ступеня, зателефонував до Києва і запросив надіслати на допомогу ще 250 пожежників, а сам зі своєю групою розпочав боротися з вогнем.

Головна небезпека полягала в тому, що системи вентиляції 3-го і 4-го блоків сполучалися між собою і були розміщені в одному приміщенні, що могло обумовити пожежу і на 3-му блоці, який знаходився поруч з четвертим. За такої умови лихо зросло б у два рази.

Чорнобильські блоки містилися у приміщеннях, які не мали спеціальних бетонних бань, типових і обов'язкових для захистних споруд АЕС на Заході. ЧАЕС збудована на плавунах, тому при вибусі реактор заглибився до 40-60 м.

У момент аварії загинуло дві особи: Шашенюк В.М. – начальник системи автоматики і Ходемчук В.І. – оператор ЧАЕС, одразу загинула 31 особа, 1 госпіталізовано 299 осіб з діагнозом променевої хвороби різного ступеня

тяжкості, 130 тисяч отримали великі дози радіації. Евакуювали й переселили сотні тисяч людей. Отже, вибух на ЧАЕС забрав життя людей, багатьох залишив хворими, приніс глибокі соціальні потрясіння і страшні екологічні наслідки.

В історії медицини робота лікарів і медичних сестер медчастини № 126 міста Прип'яті стане однією з найбільш яскравих героїчних сторінок. Вони здійснили подвиг: були серед перших на місці аварії і останіми покинули евакуйоване місто. З 26 квітня до 8 травня медики рятували людей. Опісля майже всі вони були госпіталізовані.

Значний внесок здійснили для подолання наслідків катастрофи щодо лікування опромінених людей вчені-медики Р.Гейл, П. Тарасакі.

На прикладі ЧАЕС людство вочевидь переконується на що здатний "мирний" атом. У результаті серії газопарових вибухів у ніч на 27 квітня 1986 року реактор був зруйнований і радіоактивні продукти були викинуті в атмосферу на висоту до 1,5 км. Температура у аварійному реакторі у цей час була порівняно невисока – до 1000°C. У цей час найбільші викиди були ^{137}Cs , який плавиться при 28,5°C, а при 686°C починає кипіти і випаровуватись. Через декілька діб почав горіти графіт, який утворює захистну оболонку реактора, і температура у реакторі досягла 1500°C. За такої температури починаються викиди ^{90}Sr , який плавиться при 770°C, а кипить при 1383°C. Підхоплені струменем гарячого повітря радіоактивні речовини підносились на висоту до 7 км, тобто до тропосфери. У тропосфері радіоактивна хмара була підхоплена так званими тропосферними вітрами.

Радіонукліди проникали у повітря, воду, землю, рослини, в організми тварин і людини. Вже в перші після аварії дні в пробах зелені, яєць були виявлені такі радіонукліди, як йод-131, рутеній-103 і 106, барій-лантан-140, цирконій-нобій-95, церій-141 і 144, цезій-134 і 137. З 1996 року почали переважати довго живучі радіонукліди – цирконій, ніобій, рутеній, церій, цезій. Драматизм чорнобильської аварії не піддається виміру. За рахунок міграції радіонуклідів ураженню піддавалися все нові території і нові маси людей.

12.3. Наслідки аварії на ЧАЕС

Аварія на ЧАЕС – найкрупніша техногенна катастрофа світу. Викид у довкілля склав більше 10 мільйонів кюрі. За даними наукового комітету ООН із впливу атомної радіації, аварія на Чорнобильській АЕС спричинила викид у навколишнє середовище найбільшої кількості радіоактивних речовин за весь період використання ядерної енергетики.

При визначенні наслідків катастрофи на ЧАЕС важливо визначити величину колективної дози опромінення, яку збирала в себе популяція – всі ті,

на кого безпосередньо чи посередньо вплинуло опромінення. У цьому випадку така доза сягає мільйонів людинобер.

Під час аварії в атмосферу було викинуто до 100% радіоактивних благородних газів, 20-50% ізотопів йоду, 12-30% ^{134}Cs , ^{137}Cs , 3-4% ^{144}Ce , ^{95}Zn , ^{99}Mo , ^{89}Sr , ^{90}Sr , ^{103}Ru , ^{141}Ce , ^{154}Eu , ^{155}Eu , ^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Pu та інші легкі радіонукліди. В реакторах є америцій, що у сотні разів небезпечніший стронцію.

Радіаційний фон у Києві, де було сконцентровано близько 2,5 млн чоловік, зріс у десятки і сотні разів. Так, 1 травня на Хрещатику під час проведення святкової демонстрації він становив 800-1200 мкР/год, а на Подолі сягав 3000 мкР/год при доаварійному рівні 8-10 мкР/год. Тож компонент дози зовнішнього опромінення був дуже значним. А доза внутрішнього опромінення була порівняно невеликою. Тому, що населення в цей ранній весняний період споживало хліб, овочі, фрукти і більшість інших продуктів урожаю попереднього року, не забрудненого радіоактивними речовинами. Худоба в цей період переважно перебувала на стійловому утриманні й в основному поїдала сіно, силос, овочі, концкорми, теж урожаю попереднього року. Отже, м'ясо і молоко також були чистими від радіонуклідів. Вода також була відносно чистою, оскільки радіоактивні частинки, щільність яких значно перевищувала щільність води, швидко осідали на дно.

Зміни метеорологічних умов під час викідів з реактора зумовили забруднення великих територій не лише в Україні, Беларусі, Росії, а також у багатьох країнах Європи.

Рух радіоактивних хмар, з яких радіонукліди у складі опадів випадали на поверхню землі, спричинив формування так званих слідів. Найчиткіше проявився західний слід, що являє собою вузьку смугу, яка тягнеться до Польщі. Другим за інтенсивністю радіонуклідного забруднення є північний слід, він набагато ширший, ніж західний, і тому загальна активність радіонуклідів тут істотно вища. З цим слідом пов'язане забруднення країн Скандинавії. Широкий є південний слід. Формування східного сліду зумовило забруднення кількох областей Росії. Зони радіаційного забруднення утворились також на території Німеччини, Австрії, Швейцарії, Греції, Болгарії, Румунії, Грузії. Радіонуклідний склад забруднень, що виникли за різними слідами неоднаковий.

Під час катастрофи на ЧАЕС зразу загинуло 31 особа, 130 тисяч осіб отримали великі дози радіації, евакуювали й переселили сотні тисяч людей.

Найшкідливішими є наслідки, пов'язані з радіоактивним забрудненням ґрунту, сільськогосподарських угідь, водойм, лісів. Одним з чорнобильських могильників, на думку ряду вчених, стає Дніпро.

У Чорнобильській зоні створено понад 800 радіаційних сховищ. Їх створювали нашвидкоруч відразу ж після аварії, з розрахунку на термін 5-6 років. А це сотні тисяч кубометрів радіаційних матеріалів.

В Україні забруднення стронцієм-137 у межах 4-20 кБк/м² становило найбільші території. Західний слід охопив Київську, Житомирську, північну

частину Рівненської та північно-сходу частину Волинської областей. Тут щільність поверхневого забруднення в окремих плямах сягає 190 кБк/м^2 . Південний слід зумовив забруднення Київської, Черкаської, Кіровоградської, частково Вінницької, Одеської та Миколаївської областей. Тут щільність забруднення стронцієм-137 досягає 100 кБк/м^2 . Від південного сліду відгалузився слід у західному напрямі, й зумовив забруднення частини Вінницької, Хмельницької, Тернопільської, Івано-Франківської та Черновицької областей, де середня щільність забруднення стронцієм-137 становить $10\text{-}40 \text{ кБк/м}^2$. Значні забруднення (до 40 кБк/м^2) виявляються в західній і північно-східній частинах Чернігівської, на півночі Сумської областей, у Донецькій, Луганській і Харківській областях.

Оскільки осідання радіонуклідів на поверхню землі було значним у тих місцях, де під час проходження радіоактивних хмар випадали дощі, то забруднення мають чітко виражений плямистий характер.

З часом радіонукліди, що потрапили до зовнішнього середовища (у ґрунт, воду, на рослини), додалися до речовин, які беруть участь у біологічних перетвореннях, включилися до трофічних ланцюгів. При цьому створились умови, за яких зростає потужність дози зовнішнього та внутрішнього опромінення людей, які проживають у зонах забруднення. Зовнішнє опромінення зумовлено тим, що збільшилась концентрація радіоактивних речовин, насамперед стронцію-137, який випромінює гама-частинки. Внутрішнє (інкорпороване) опромінення зумовлене вмістом радіонуклідів у питній воді, у рослинах, у тваринницькій продукції, за рахунок інгаляції радіонуклідів у складі повітря.

У перші дні після аварії дуже значна питома вага в опроміненні була ізотопу ^{131}I . За усередненими даними співвідношення колективних ефективних доз внутрішнього й зовнішнього опромінення населення, яке проживає на забруднених унаслідок аварії на ЧАЕС територіях, нагромаджених за період з 1986 по 2000 роки становило $65 : 35$.

На територіях, забруднених унаслідок катастрофи на ЧАЕС, опромінення у підвищених дозах зазнали не тільки люди, а й усі без винятку живі істоти будь-яких екосистем.

На кінець 1986 р. до 98% радіоактивності, що випала на дзеркало водойм, знаходилась у донних відкладеннях (мулі) і лише 2% - у воді й біоті.

Аварія на Чорнобильській АЕС стала безпрецедентною за ступенем впливу на сільськогосподарську галузь [Д.М. Гродзинський, 2000; І.М. Гудков, 2005]. Тільки в Україні радіонуклідному забрудненню рівнів $37 - 555 \text{ кБк/м}^3$ за ^{137}Cs підпало 1,24 млн. га сільськогосподарських угідь, розташованих у 74 районах 11 областей, де проживає близько 3,2 млн. осіб, у тому числі понад 600 тис. дітей. І споживання забрудненої радіонуклідами продукції рослинництва та тваринництва стало головним чинником формування дози опромінення населення і значною мірою визначає її медичні наслідки. В усіх місцях, забруднених радіацією внаслідок аварії спостерігається збільшення

онкологічних захворювань, ушкодження імунної системи, різні вади новонароджених.

Найбільше радіонуклідному забрудненню була піддана зона Полісся, де виявлено велику геохімічну провінцію з дуже низьким вмістом у ґрунті гідрослюд – тришарових мінералів, що мають високу вбирну здатність та є важливим джерелом калію для рослин. У наслідок цього адсорбційна здатність таких ґрунтів надзвичайно мала і перехід радіонуклідів, особливо хімічного аналога калію – радіоактивного ізотопу ^{137}Cs в рослини і надходження його до організму тварин та людини є у 10-30 разів вищим, ніж в інших місцевостях з такою самою щільністю радіонуклідного забруднення. І саме на території цієї провінції трапилась аварія, саме тут осіла найбільша кількість радіоактивних випадань.

Радіонукліди з плином часу згідно із законами ядерної фізики розпадаються. Якщо під час аварії їх було викинуто декілька сотень, то через двадцять років залишилося лише декілька. Радіонукліди з періодом піврозпаду від секунд до декількох діб (короткоживучі) розпалися ще у 1986 році. Розпалися і середньоживучі радіонукліди з періодом піврозпаду, що вимірюється місяцями – декількома роками. Нині залишилися довгоживучі радіонукліди. Основні з них – це ^{90}Sr (період півростаду 29 років), ^{137}Cs (період піврозпаду 30 років), ^{239}Pu (плутоній має період піврозпаду 24000 років) тощо.

Радіаційний фон нині значно знизився порівняно з першими тижнями-місяцями післяаварійного періоду, і практично на всій території, за винятком прилеглих до зони відчуження, його потужність становить 13-20 мкР/год. Це лише в 1,5-2 рази перевищує доаварійний рівень. Однак про стабілізацію радіаційної обстановки можна говорити тільки дуже умовно, маючи на увазі відносну стабільність характеру динаміки поведінки радіонуклідів у навколишньому середовищі. Оскільки наземні радіонукліди у складі різних речовин піддаються різноманітним хімічним та фізико-хімічним перетворенням, продовжують мігрувати в глиб ґрунту та на його поверхні, охоплюючи нові горизонти і площі; змиваються у водойми з площ водозборів, течією річок переносяться в інші менш забруднені регіони, особливо Дніпром із зони аварії на сотні кілометрів у зрошувані південні регіони. З різними швидкостями (що постійно змінюються) іде рух радіоактивних речовин трофічними ланцюгами до людини. Сьогодні населення України від 70 до 90% дози опромінення іонізуючою радіацією одержує внаслідок внутрішнього опромінення інкорпорованими радіонуклідами, що надходять в організм з продуктами харчування, серед яких основними дозоутворювачами є молоко (40-60%), м'ясо (20-30%), картопля й овочі (до 20%).

До потерпілих у наслідок чорнобільської катастрофи офіційно відносять наступні категорії людей:

- Ті, хто брав участь у гасінні пожежі й викидів радіоактивних речовин із жерла зруйнованого реактора. Ці люди зазнали найсильнішого опромінення. Багато з них вже загинули від гострої променевої хвороби.

- Учасники ліквідації наслідків аварії. Так звані “ліквідатори”. Серед них опромінення в найбільших дозах зазнали ті, хто працював біля аварійного блоку у перші місяці після катастрофи, проводив дезактивацію прилеглої до реактора території, проммайданчика, здійснював засипання реактора з гелікоптерів, приймав участь у спорудженні саркофага. Ця група людей дуже багаточисельна (понад декілька сотень тисяч) і головним чином представлена молодими чоловіками. Їх індивідуальні еквівалентні дози могли перевищувати 500 мЗв.
- Ліквідатори, які працювали і працюють зараз у зоні відчуження (територія навколо ЧАЕС радіусом 30 км) – на реакторах, по обслуговуванню саркофага, проводять дезактивацію території, займаються впорядкуванням доріг та гідротехнічних споруд, ведуть лісове господарство тощо.
- Населення, яке було евакуйоване з міста Прип’яті і зони відчуження. У цій групі багато дітей, вагітних жінок і людей похилого віку.
- Населення, яке проживає на територіях, забруднених радіонуклідами, тобто якому загрожує зростання доз опромінення.

Офіційно вважається, що загальна чисельність людей зазначених груп перевищує 3 млн осіб. Серед цих людей дуже висока захворюваність, спостерігається враження імунитету, почастишали випадки порушення перебігу вагітності, зростає враження злоякісними пухлинами (особливо щитовидної залози у дітей), зростає частота уроджених пороків розвитку.

Вислів “ліквідація наслідків аварії на ЧАЕС” має символічне значення, бо здійснити це неможливо. У цьому випадку можна лише говорити про їх мінімізацію впливу на людину, на екологію.

Згідно 16 статті Конституції України ліквідація наслідків аварії на ЧАЕС є обов’язком держави. У наслідок аварії на ЧАЕС забруднено 6,7 млн. га, у тому числі 1,2 млн. га сільськогосподарських угідь. Найбільш забрудненими є Київська, Волинська, Житомирська, Рівенська, Черкаська області. Станом на 2005 рік Україна витрачає на проведення контрзаходів до 5 млн. грн., це приблизно 5-10% від потреб.

Після аварії на ЧАЕС було евакуйовано біля 96 тисяч осіб з міста Прип’яті та Чернобиля, біля 70 населених пунктів тридцятикилометрової зони. Протягом 1990-1991 років з Поліського, Народичського та інших районів було евакуйовано біля 130 тисяч осіб. Але, на забруднених територіях ще проживає біля 1,8 мільйона осіб.

Нині рівні опромінення, які склалися, в більшості забруднених радіонуклідами регіонів, де дозволене проживання людей, не становлять безпосередньої загрози для здоров’я. Але й говорити про повну їхню нешкідливість теж не можна. Посилатися на радіоадаптацію, а тим більше на те, що начебто навіть є корисним для живих організмів опромінення іонізуючою радіацією певними «малими дозами» не мають підстав, оскільки це не підтверджується науковими дослідженнями. Головним постулатом радіобіології є те, що немає нешкідливих для організму доз опромінення

іонізуючою радіацією; тобто якою б малою не була доза, достатньо влучення одного кванта гамма- чи рентгенівського випромінювання, однієї альфа-, бета-, нейтронної чи іншої високоенергетичної частинки в молекулу ДНК – мішень дії радіації, щоб викликати в ній мутацію з різними можливими наслідками: морфологічними та функціональними змінами в самому організмі аж до виникнення ракових новоутворень, якщо клітина соматична; найнесподіванішими, часом драматичними спадковими змінами у нащадків аж до двадцятого покоління, якщо клітина статева. Одже, немає порогу дози, до якого опромінення живого організму іонізуючою радіацією можна було б вважати нешкідливим. Поріг існує для деяких соматичних ефектів в онтогенезі, наприклад, процесів росту та розвитку, зниження імунитету, променева хвороба, прискорення старіння і скорочення тривалості життя, загибель тощо. Можуть проявлятися стимуляційні ефекти – прискорення росту та розвитку, користь яких дуже сумнівна.

За деякими прогнозами (І.М. Гудков, 2005) значна частина території зони відчуження зможе бути повернута для господарського використання через 8-10 періодів піврозпаду ^{90}Sr , ^{137}Cs , тобто через 250-300 років. А як бути з трансурановими елементами (ТУЕ), періоди піврозпаду яких сягають десятків тисяч років?

Нині радіаційна ситуація змінилася. Радіаційний фон знизився. Це означає, що зовнішнє опромінення не являє собою небезпеки. Основна частка дози опромінення формується від внутрішнього опромінення, тобто радіоактивних речовин, які потрапляють в організм з продуктами харчування. У зв'язку з цим має змінитися і стратегія протирадіаційного захисту.

Восени 1986 року прийнята міжнародна конвенція про оперативне оповіщення про ядерну аварію та допомогу. Був створений Міжнародний комітет з реагування на ядерні аварії, до якого увійшли представники багатьох структур світового рівня. З 1990 року всі сесії ООН включали до порядку денного питання про аварію на ЧАЕС. Вивченням радіологічних наслідків аварії на ЧАЕС займається МАГАТЕ. Актувну участь в цій роботі приймає ЮНЕСКО. Тільки об'єднавши зусилля всіх країн світи можна перебороти наслідки катастрофи.

Робота ведеться за наступними пріоритетними напрямками: здоров'я, переселення, екологічна реабілітація забруднених територій, економічно-соціально-психологічна реабілітація постраждалих людей, продовольчий і сільськогосподарський моніторинг.

Наслідки аварії на ЧАЕС – це здоров'я людини, переселення значної кількості людей, екологічна реабілітація забруднених територій, соціально-психологічна реабілітація постраждалих людей, продовольчий і сільськогосподарський моніторинг, розробка концепції і технології сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях тощо. Масштаби і фази Чорнобильської радіаційної аварії, а також рівні

прогнозованих доз опромінення вимагають контрзаходи поділити на термінові, невідкладні та довгострокові й за такою схемою їх слід і реалізувати:

- **Термінові контрзаходи.** До термінових належать такі контрзаходи, проведення яких спрямоване на запобігання виникнення в осіб з населення важких радіаційних уражень, що виявляється клінічно. До таких контрзаходів належать укриття та евакуація.

Рівні безумовно виправданих термінових контрзаходів (втручань) визначаються значеннями прогнозованих поглинених доз при гострому опроміненні за період менше 2 діб (табл. 12.1.) та значеннями річних еквівалентних доз при хронічному опроміненні (табл. 12.2.).

Таблиця 12.1

Рівні безумовно виправданого термінового втручання при гострому опроміненні

Орган або тканина	Прогнозована поглинена доза за період, менший 2 діб, Грей*
Все тіло (кістковий мозок)	1
Легені	6
Шкіра	3
Щитовидна залоза	5
Кришталік ока	2
Гонади	2
Плід	0,1

*Грей (Гр) - одиниця поглиненої дози іонізуючого випромінювання у системі СІ.
Позасистемна одиниця - рад. 1 Гр = 100 рад = 1 Дж/кг

Таблиця 12.2

Рівні відвернутої річної еквівалентної дози хронічного опромінення органів та тканин, при яких термінове втручання безумовно виправдане

Орган або тканина	Річна еквівалентна доза, Зв/рік
Гонади	0,2
Кришталік ока	0,1
Кістковий мозок	0,4

- **Невідкладні контрзаходи.** Контрзаходи кваліфікуються як невідкладні, якщо їх реалізація спрямована на відвернення детерміністичних ефектів.

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

Для проведення цих контрзаходів вводяться рівні виправданості та безумовної виправданості, які визначаються значеннями відвернутої дози за перші два тижні після аварії (табл. 12.3.).

Таблиця 12.3
Найнижчі межі виправданості та рівні безумовної виправданості для невідкладних контрзаходів

Контрзахід	Відвернута доза за перші 2 тижні після аварії					
	межі виправданості			рівні безумовної виправданості		
	мЗв	мГр		мЗв	мГр	
	на все тіло	на щито-видну залозу	на шкіру	на все тіло	на щито-видну залозу	на шкіру
Укриття	5	50	100	50	300	500
Евакуація	50	300	500	500	1000	3000
Йодна профілактика:						
- діти	-	50	-	-	200	-
- дорослі	-	200	-	-	500	-
Обмеження перебування на відкритому повітрі:						
- діти						
- дорослі	1	20	50	10	100	300
	2	100	200	20	300	1000

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

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

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

Довгострокові контрзаходи проводять після повного завершення аварійного радіоактивного забруднення території з урахуванням аналізу результатів детального радіаційного моніторингу.

Втручання слід вважати безумовно виправданим, якщо довгостроковим контрзаходом запобігається така прогнозована доза, яка перевищує значення рівнів, наведених у таблиці 12.4, або пов'язаних з ним рівнів дій.

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

Таблиця 12.4

Нижні межі виправданості, безумовно виправдані рівні втручання і рівні дії для прийняття рішення про переселення

Категорії для прийняття рішення	Нижні межі виправданості	Безумовно виправдані рівні втручання і рівні дії
Доза, відвернута за період переселення, Зв	0,2	1
Доза, відвернута за перші 12 місяців після аварії, Зв	0,05	0,5
Щільність забруднення території довгоживучими радіонуклідами, Бк/м ² - ¹³⁷ Cs - ⁹⁰ Sr - α-випромінювачі (плутоній, америцій та інші)	400 80 0,5	4000 400 4
Потужність дози γ-випромінювання на відкритій місцевості, мГр/с -мононуклідне забруднення ¹³⁷ Cs -забруднення на 15-й день після аварії	0,3 5	3 50

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

НРБУ-97 встановлює такий залишковий прийнятий сумарний рівень ефективної дози:

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

Ці значення враховуються при визначенні границь зони комунальної аварії.

Використання значень рівнів дії, вказаних в таблиці 12.5, вимагає постійного застосування процедури зважування за принципом «користь - збиток», оскільки не виключені ситуації, коли при вкрай обмежених можливостях підвозу чистих продуктів харчування, заборона чи обмеження споживання місцевих продовольчих ресурсів може викликати пряму загрозу голоду. При цьому наслідки для здоров'я людей дефіциту продуктів можуть виявитися набагато важчими, а ніж ті, які пов'язані з радіаційним фактором – стохастичними ефектами.

Таблиця 12.5

Нижні межі виправданості та безумовно виправдані рівні втручання і дії прийняття рішення про вилучення, заміну й обмеження вживання забруднених радіонуклідами продуктів харчування

Критерії для прийняття рішення	Найнижчі межі виправданості	Безумовно виправдані рівні втручань і рівні дії
Відвернута доза внутрішнього опромінення, мЗв:	5	30
• за перший після аварійний рік, мЗв	1	30
• за другий і наступні роки, мЗв	1	5
Радіоактивне забруднення молока, Бк/л*		
а) ^{131}I :		
• для дітей	100	200
• для дорослих	400	1000
б) ^{137}Cs	100	400
в) ^{90}Sr :		
• для дітей	5	50
• для дорослих	20	200

* Для інших немолочних продуктів харчування рівні дії у два рази вищі.

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

15 грудня 2000 року Чорнобильська АЕС була закрита, а проблема ще багато років буде надзвичайно гострою і тяжкою.

12.4. Філософія подій

Чорнобильська катастрофа показало, що людина ще нездатна (згідно другого закону термодинаміки) створювати промислові об'єкти, повною мірою гарантовані від аварій. Вона висвітлила природовитратність атомної енергетики, як могутнього фактору руйнування середовища життя людини. Ця катастрофа показала примитивність економіки атомної галузі. Її безперспективність для густо заселених регіонів, з теплим кліматом, багатими ґрунтами, великими рекреаційними територіями.

Аварія ще раз показала, що вчені мають мати високу моральність. В науці не повинно бути місця для циніків, кар'єристів, обмежених за світоглядом і загальною культурою.

Чорнобильська аварія показала, що індустріальні катастрофи найбільш небезпечні ті, що трапляються на позиціях найбільш передових досягнень науки і техніки. І трапляються вони часто через халатність, безпечність, не професійність.

Аварія на ЧАЕС стала новою віхою відліку в історії атомної енергетики. Вона показала наскільки небезпечна позбавлена контролю сила атома і як неймовірно важко вгамувати її. Подібних до Чорнобильської аварії в історії ще не траплялися. У спеціальній літературі нічого подібного не описувалося. Фізики були глибоко переконані, що вона взагалі не можлива. Аналогічна парадигма формувалась і в населення. Керівництво ЧАЕС розгубилося, спробувало приховати справжній стан справ, тим самим поставило тисячі людей на край загибелі. Тільки диво і везіння спасли населення міста Прип'яті. Адже з'ясувалося, що в місті не було передбачено ніяких заходів на випадок аварії, не були прийняті своєчасні дії по евакуації населення. Люди, які працювали у небезпечній зоні від реактора, не мали навіть захистних костюмів.

Аварія на ЧАЕС була лише однією з ланок довгого ланцюга ядерних експериментів (зокрема на об'єктах Каштим, Арзамас-16, Челябінськ-70, Томськ-7, Красноярськ-26, Семіпалатинськ, Хрестище Красноградського району на Харківщині, в шахтах Донбасу та інших), що тривали майже чотири десятиліття, наслідки яких даватимуться людству взнаки принаймні впродовж кількох найближчих століть.

Аварія на ЧАЕС породжена бюрократизмом, нецтвом, неправдою. Така безпечність і безвідповідальність підтверджується одним із пунктів записки ЦК КПРС, де викладені факти, які, мабуть, обумовили аварію на ЧАЕС. Там відмічалось, що у системі Міненерго вимоги і відношення до атомних станцій у декілька разів нижчі, ніж у Міністерстві середнього машинобудування, зокрема: а) скорочена чисельність обслуговуючого персоналу; б) систематично беруться зобов'язання скоротити час тривалості планового ремонту; в) на думку фахівців якість обладнання, що поставляється, знизилась у два рази; г) завдання на плановий ремонт забезпечуються протягом 6 місяців; д) охорона реакторних блоків недостатня.

Ехо Чорнобильської трагедії пролунало в усіх куточках планети. Випробування Чорнобилем пройшла кожна людина, яка хоч раз задумувалася над тим, що трапилось і які причини цієї трагедії.

Шкода, яку заподіяла Чорнобильська катастрофа, величезна і має різні аспекти: по-перше, і це найголовніше, вплив на здоров'я величезної кількості людей нині живучих і майбутніх поколінь; по-друге, радіоактивне забруднення, що обумовило вилучення з господарського природокористування великих територій; по-третє, величезні економічні витрати, пов'язанні з лікуванням, переселенням, дезактивацією, здійснення системи контрзаходів для зменшення дозового навантаження на людей, відшкодування населенню втрат, пов'язаних з аварією тощо. Чорнобильська катастрофа породила багато проблем, для вирішення деяких потрібно десятки років, а для інших – віки. У зоні значного радіонуклідного забруднення навколо ЧАЕС реєструється зниження генеративної функції ряду представників фауни. Так, помітно знизилось розмноження комах (особливо *Syrphidmus tentus*), ящірок, мухоловки строкатої, синиці великої, водоплавних птахів водно-болотних екосистем. Ряд популяцій

дикої фауни стали перед загрозою зникнення. У цій зоні за умов постійного зовнішнього і хронічного інкорпорованого опромінення спостерігається підвищення загибелі мишовидних гризунів. У свійських тварин спостерігаються зміни фізіологічного стану, знижується плодючість і багатопліддя тварин, наприклад, протягом останніх років лосі народжують не двійнят, а найчастіше одне теля. На забруднених територіях спостерігається зменшення лінійних розмірів тіла тварин, особливо черепа.

Чорнобильська катастрофа вплинула на світобачання, обумовила психологічні і моральні зміни у свідомості людей, змінила парадигму щодо іонізуючої радіації. Вона показала збочення науково-технічного прогресу під впливом технократії. Виявилось, що людство безсиле перед катастрофами такого масштабу, як Чорнобильська. Чорнобильська катастрофа значно знизила довіру людей до центральної влади бувшого СРСР та УРСР.

Чорнобиль збудив солідарність людства. Багато країн прийняли участь надання допомоги його жертвам. Тисячі дітей були відправлені до спеціальних реабілітаційних центрів (зокрема на Кубу).

Приклад Чорнобильської катастрофи вимагає від людства змінити технологію природокористування, жити не проблемами сьогодення, а глобальними проблемами на віки, проблемами сталого розвитку природи і суспільства.

Смертність в Україні нині переважає народжуваність. Причини цього можуть бути різними: економічна скрута, несприятливе для здоров'я людини навколишнє середовище, забруднена радіонуклідами сільськогосподарська продукція. Сьогодні, певною мірою, відчувається, що держава забуває, що наслідки чорнобильської катастрофи – постійна небезпека для здоров'я людини.

Чорнобильська катастрофа показала, що ядерна енергія, що вийшла з під контролю, не визнає границь її безпечне її використання є проблемою всього людства.

Атомні електростанції є сильним фактором впливу на довкілля і за умови нормальної безаварійної їх експлуатації. Вони здійснюють локальний тепловий, механічний, хімічний, радіаційний вплив на ландшафти, рельєф, стік поверхневих і ґрунтових вод, що містять хімічні й радіоактивні компоненти. Вони змінюють характер землекористування. Охолоджувачі, градирні помітно впливають на мікроклімат прилеглих територій. Рух води в системі зовнішнього тепловідводу, зливи технологічних вод, що містять різноманітні хімічні компоненти негативно впливають на гідробіотів, флору і фауну екосистем. Тому нині порядкі комплексні необхідні і достатні захистні заходи при будівництві і експлуатації АЕС. Під необхідними заходами захисту довкілля є система мір, спрямованих на компенсацію можливого негативного впливу. Достатність захисту досягається за умови, коли дозові, температурні, токсичні та інші показники не перевищують граничних, критичних значень.

Атомні станції здійснюють постійні викиди, що знаходяться під контролем, а також аварійні. До складу цих викидів входять радіоактивні й

токсичні речовини, які піддаються різним формам міграції, поширюючись в навколишньому середовищі, включаються до трофічних ланцюгів, потрапляють до організмів рослин, тварин, людини.

Сьогодні є нагальним наступне:

- знизити локальну механічну дію на рельєф при будівництві;
- підвищити надійність від аварій всієї техногенних споруд;
- покращити захист флори і фауни від ураження технологічними системами при їх експлуатації;
- захистити від забруднення поверхневих і ґрунтових вод стоками, що містять хімічні і радіоактивні компоненти;
- удосконалити систему водо- і землекористування в безпосередній близькості від АЕС тощо.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте вплив атомних електростанцій на довкілля.
2. Вкажіть основні причини Чорнобильської катастрофи.
3. Охарактеризуйте основні сліди радіаційного забруднення територій.
4. Охарактеризуйте наслідки Чорнобильської катастрофи.
5. Обґрунтуйте глобальні масштаби Чорнобильської катастрофи.

13. ВЕДЕННЯ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА НА ТЕРИТОРІЯХ ЗАБРУДНЕНИХ РАДІАЦІЄЮ

13.1. Загальна характеристика ситуації сільськогосподарського виробництва. 13.2. Концепція ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях.

13.1. Загальна характеристика ситуації сільськогосподарського виробництва в Україні

У наслідок аварії на ЧАЕС в Україні одержали забруднення 12 областей (Київська, Житомирська, Волинська, Рівенська, Івано-Франківська, Чернігівська, Сумська, Черкаська, Чернівецька, Тернопільська, Хмельницька) та 2163 населені пункти. Тому сьогодні склалися такі умови навколишнього середовища, що є необхідність постійно здійснювати комплекс державних і технологічних заходів у галузі сільського господарства з метою зниження рівня забруднення радіонуклідами продуктів харчування. Розробка і впровадження контрзахистних технологій ведення сільського господарства на територіях забруднених радіацією є вимушеним, досить дорогим заходом, але необхідним.

Необхідно враховувати, що з початку 90-х років минулого століття в сільському господарстві України сформувався приватний сектор виробництва продукції. В Україні понад 90% картоплі і 60% молока виробляють особисті приватні господарства, і ця продукція надходить на споживчий ринок. Це змінило умови здійснення моніторингу і системи реалізації продукції, впровадження технологій виробництва, які дозволяють одержувати не забруднену продукцію.

Отже, до ускладнення радіаційної обстановки в селі призвело і розпаювання земель. Адже під розпаювання потрапили радіаційно забруднені торфо-болотні ґрунти, для яких коефіцієнт переходу радіоцезію у рослини в 30-100 разів вищий, ніж для мінеральних ґрунтів. Населення використовує їх навіть для вирощування городини, що призвело до її забруднення, яке перевищує ДР-97. Одержують сіно з забруднених боліт та лісів. В умовах приватних фермерських господарств рекомендованих технологій утримання великої рогатої худоби не дотримуються, а значну кількість молока використовують для харчування дітей.

Начальник радіологічної інспекції Міністерства аграрної політики України О. Дутов (2004) відмічає, що є випадки, коли через 17 років після чорнобильської катастрофи приватні, підсобні господарства виробляють сільськогосподарську продукцію, в якій вміст радіонуклідів перевищує нормативи. Викликає тривогу, що майже в сорока населених пунктах вміст радіонуклідів у молоці й м'ясі перевищує допустимі рівні у 5-15 разів; а більше як у 400 населених пунктах рівень радіоактивного забруднення наближається до максимально допустимого рівня. У десятих селах виявлено випадки перевищення вмісту радіоцезію в картоплі та овочах. У 6-ти, господарствах Овруцького, по три господарства в Народицькому, Коростенському, Олевському та в двох господарствах Новоград-Волинського районів Житомирської області вміст стронцію-97 у зерні перевищує ДР-97.

У 162 населених пунктах Волинської, 198-ми Житомирської, 232 Рівенської областей вміст радіонуклідів у молоці перевищує ДР-97. У Київській області виявлено 9 сіл, а у Чернігівській три села, де в молоці стронцій-90 перевищує ДР-97. У центральних районах Житомирської, Київської та Чернігівської областей сумарна доза опромінення становить 0,2-1 мЗв за рік. Нині понад 500 населених пунктів України періодично отримують молоко і м'ясо з перевищенням гігієнічних норм вмісту радіонуклідів. У 40 населених пунктах ця продукція значно перевищує ДР-97 вмісту радіонуклідів. Динаміка кількості критичних населених пунктів з перевищенням опромінення 1 мЗв за рік насторожує. Бо кількість таких населених пунктів у 1999 році була 406, а в 2000 році – 446.

Забруднена радіацією продукція завдає шкоди не тільки тим, хто її виробляє, а й усім, хто її споживає.

Станом на 2004 рік структура формування дози опромінення населення в різних регіонах України головним чином здійснюється за рахунок

інкорпорованої (80-95%) радіації. Зовнішнє опромінення становить лише 5-20%. Основна доза опромінення формується продуктами харчування, за рахунок питної води – до 2%, за рахунок інгаляції при диханні з повітря – до 0,1%, за рахунок молока і м'ясо до 50%. Молоко дає в середньому 53% дози опромінення, м'ясо – 17%, яйця – 14%, хліб та крупи – 6%; картопля – 6%, овочі та фрукти – 3%, риба - 1%. У продуктах природних екосистем до 59% доза опромінення належить грибам. Досить значний вміст радіонуклідів у лісових ягодах.

Частка зовнішнього опромінення становить лише 5-20 відсотків загальної дози. У північно-західних районах Полісся сумарна доза опромінення коливається від 0,5 до 5 мЗв. А відповідно до вимог “Норми радіаційної безпеки України” вона не повина перевищувати 1 мЗв за рік. Проте, зараз допустимі рівні забруднення основних продуктів харчування за цезієм-137 коливаються в межах 20-200 Бк/кг і за стронцієм-90 – 5-20 Бк/кг. Доаварійні ж рівні були в 10-100 разів нижчими. Це вимушена міра, оскільки, основний постулат радіобіології залишається не змінним і формулюється так: “Немає нешкідливих доз іонізуючого випромінювання – якою б малою не була доза, достатньо одного попадання його кванту чи частинки в молекулу ДНК, щоб викликати в ній мутацію з усіма можливими наслідками: морфологічними та функціональними змінами в організмі, якщо це звичайна соматична клітина; або спадковими змінами у наступних поколіннях аж до двадцятого, якщо клітина статевая”.

У найближчому майбутньому очікувати, що поліпшиться радіаційна ситуація у сільському господарстві не доводиться. Бо можливості природної автореабілітації – фіксація радіоцезію ґрунтами без застосування спеціальних заходів – практично вичерпані. А з 2000-го року фінансування таких заходів майже не здійснюється. Якщо в 1992 році здійснено залуження луків і пасовищ на 180 тисячах гектарів, то, починаючи з 2000-го року, ці роботи практично припинено, що, значною мірою, стосується і внесення підвищених доз мінеральних добрив і вапнування кислих ґрунтів.

Фахівці вважають, що є нагальним питання створення у складі центрального апарату Мінагрополітики України на базі радіологічної інспекції самостійного управління, яка б забезпечувала реалізацію стратегічних питань організації роботи агропромислового комплексу в екологічно несприятливих умовах.

13.2. Концепція ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях

Ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених радіацією територіях має здійснюватися згідно положенню нормативних документів про проживання і трудову діяльність населення в умовах підвищених рівнів

радіоактивного радіонуклідного забруднення, з дотриманням принципів радіаційної безпеки та основних санітарних правил роботи з радіоактивними речовинами і забезпечувати виробництво продуктів харчування, що не містять їх кількості, що перевищують допустимі рівні. При цьому вирішуються такі завдання:

- виробництво сільськогосподарської продукції, споживання якої без обмежень не призведе до перевищення середньої ефективної еквівалентної дози опромінення людини (1мЗв);
- впровадження у виробництво заходів, спрямованих на зменшення вмісту радіонуклідів в продукції нижче встановлених норм з урахуванням їх економічної доцільності;
- здійснення заходів, що перешкоджають міграції радіонуклідів на незабруднені угіддя, водойми, території населених пунктів.

Еквівалентна доза опромінення населення визначається не тільки щільністю радіонуклідного забруднення території, але й комплексом екологічних факторів, що впливають на міграцію радіонуклідів харчовими ланцюгами. В залежності від цих факторів, наприклад, від типу ґрунту, окремі види сільськогосподарської продукції можуть мати однакову концентрацію радіонуклідів при виробництві на площах з різним рівнем забруднення. Більш того, на деяких територіях може бути одержана продукція рослинництва і тваринництва, що містить більш високу кількість радіонуклідів, ніж та ж продукція, одержана на площах з більш високим рівнем забруднення. Так, у бідних на поживні речовини ґрунтах легкого механічного складу з кислотою реакцією ґрунтового розчину рухомість радіонуклідів висока, а вдираюча здатність низька, отже, імовірність одержання в таких умовах забрудненої продукції збільшується. Тому рішення про можливість ведення сільськогосподарського виробництва у таких умовах приймається не тільки на основі відомостей про щільність забруднення ґрунту, але й з урахуванням комплексу інших факторів.

Науково-дослідним інститутом сільськогосподарської радіобіології Аграрної Академії наук України розроблена концепція ведення сільськогосподарського виробництва на забруднених територіях. У ній визначено напрями комплексної реабілітації радіаційно забруднених земель до 2010 року. Серед них – “Технологічні проекти диференційованого впровадження контрзаходів”, що гарантують отримання чистої сільськогосподарської продукції в критичних населених пунктах.

У принципову схему наукового супроводу проведення контрзаходів входять: моніторинг і радіаційний контроль забруднення сільськогосподарських угідь та продукції, постійний моніторинг критичних населених пунктів, пасовищ і сіножатей, оптимізація і розробка технопроектів диференційованого впровадження контрзаходів та постійна оцінка ефективності їх впровадження.

Згідно концепції ведення сільського господарства вимагається надавати пріоритетність екологічному напрямку розвитку агропромислового виробництва, розробляти і впроваджувати системи землеробства, що забезпечуватимуть виробництво гарантовано екологічно безпечної сільськогосподарської продукції.

У сучасних умовах саме виробництво такої продукції є основною передумовою реабілітації забруднених територій, зменшення індивідуальної і колективної доз опромінення.

Необхідно розробити та затвердити нормативи на допустимі рівні забруднення сільськогосподарської сировини. Це є особливо важливим для країни з розгалуженою мережею АЕС старого покоління.

Досить гострою проблемою для України є підготовка відповідного рівня компетентних кадрів у галузі радіології, радіоекології і радіобіології, які б забезпечили розробку ефективних контрзаходів мінімізації наслідків чорнобильської катастрофи. Наприклад, радіоекологів в Україні готує тільки Житомирська національна агроекологічна академія.

У зв'язку з визначенням ООН 27-го квітня Міжнародним днем пам'яті жертв радіаційних аварій необхідно посилити рівень інформаційно-роз'яснювальної роботи з питань радіаційного стану сільськогосподарських угідь, якості продуктів харчування та навколишнього середовища. Необхідно створити регіональні та центральний банки даних у сфері сільськогосподарського радіаційного моніторингу.

У залежності від властивостей ґрунту, ступеня його забруднення, видів рослин, які вирощуються, шляхів використання врожаю застосовують різні заходи, що в багато разів можуть зменшити нагромадження радіонуклідів у продукції рослинництва. Одні з них є загальноприйнятими, або загальнозживаними у сільськогосподарському виробництві. Інші – це спеціальні заходи, метою яких є зменшення надходження радіонуклідів у рослини.

Серед комплексних таких заходів є наступні: прийоми обробітку ґрунту, застосування хімічних меліорантів та добрив, зміна складу рослин у сівозміні, зміни режимів зрошення і застосування спеціальних речовин та засобів.

Концепція ведення сільського господарства на забруднених територіях включає наступні заходи: **організаційні, агрохімічні, агротехнічні, зоотехнічні та спеціальну переробку продукції.**

Щодо **організаційних** заходів – проводиться інструктаж і роз'яснювальна робота особливостей ведення сільського господарства на забруднених територіях з обов'язковим залученням фермерів, населення, яке веде присадибне і підсобне господарство. Господарствам різних розмірів і форм власності пропонуються наукові розробки і досягнення практики, що забезпечують одержання чистої від радіонуклідів продукції і способи її переробки, що забезпечують значне зниження радіонуклідного забруднення.

Здійснюється маневр з сівозмінами, структурою посівів, підбором культур, які меншою мірою накопичують радіонукліди. Необхідно проводити висушування торф'яників, це значною мірою зменшує в них вміст радіонуклідів. Здійснюється перепрофілювання господарства.

Агрохімічні заходи повинні включати проведення вапнування ґрунтів, збільшення доз внесення мінеральних і органічних добрив, використання спеціальних розчинів солей і кислот для промивання ґрунту. Кисла реакція – малопридатне середовище для росту і розвитку більшості рослин. Вапнування, тобто внесення в ґрунт вапна або вапняних матеріалів, які мають лужну реакцію і нейтралізують середовище. При цьому, по-перше, рослини забезпечуються більш сприятливими умовами для росту, що забезпечує підвищення урожаю і його якості; по-друге, в кілька разів зменшується надходження до рослин радіоактивних речовин.

Головною складовою речовиною вапна є кальцій. Це є хімічний аналог стронці., о радіоактивний ізотоп якого ^{90}Sr є одним із основних довгоживучих радіоактивних забруднювачів навколишнього середовища. В періодичній системі елементів кальцій і стронцій розташовані в одній (другій) групі. Д.І. Менделєєв у групах об'єднав хімічні елементи з деякими однаковими фізико-хімічними властивостями. У навколишньому середовищі такі елементи нерідко поводять себе як конкуренти, антагоністи, наприклад, чим більше в ґрунті буде кальцію, тим менше в рослині буде надходити стронцію, в тому числі і ^{90}Sr .

Проводити вапнування необхідно з урахуванням ступеня кислотності, специфіки ґрунтів, біологічних особливостей рослин, щоб перевищення норми вапна не призвело до зміщення реакції ґрунту у лужний бік, бо в такому середовищі ріст і розвиток рослин різко гальмується.

Вапнування ґрунтів не вібірково зменшує надходження до рослин саме радіоактивних речовин. Воно може пригнічувати надходження й інших, необхідних рослині елементів живлення, зокрема мікроелементів, на які й так бідні ґрунти Полісся. Це спричинить зменшення кількості мікроелементів у продукції рослинництва, в кормах, продукції тваринництва, а врешті-решт – зниження їхнього надходження в організм людини і може зумовити посилення деяких специфічних захворювань – гіпомікроелементозів, на які потерпають сільськогосподарські тварини та населення цієї зони.

Здатністю зменшувати надходження в рослини радіоактивних речовин мають і деякі добрива. Зокрема, калій калійних добрив є хімічним аналогом і антагоністом другого радіоактивного забруднювача ^{137}Cs . Калій і цезій теж розташовані в одній групі (першій) періодичної системи. Збільшення доз калійних добрив веде до зменшення надходження в рослини ^{137}Cs .

Важлива роль зменшення надходження до рослини ^{90}Sr належить фосфорним добривам. Фосфор здатний утворювати зі стронцієм так звані вторинні й третинні фосфати – слабозрчинні сполуки, які не переходять у ґрунтовий розчин і не надходять у рослини. Тому внесення у підвищених

кількостях фосфорних добрив є також ефективним заходом зниження надходження стронцію в рослини.

Істотно може зменшити нагромадження рослинами радіоактивних речовин використання гною, торфу, компостів. Ці органічні добрива містять велике різноманіття елементів живлення рослин, зокрема й ті, які зменшують надходження радіоактивних речовин, що здатні зв'язувати в ґрунті радіоактивні елементи й робити їх важкодоступними для рослин. Дуже корисним є пташиний послід, в якому міститься багато не тільки основних елементів живлення рослин, але й вапна. Однак при внесенні органічних добрив необхідно враховувати, що вони здебільшого є місцевого походження, тобто одержані в умовах забрудненого радіонуклідами ґрунту і самі можуть містити підвищену кількість їх. Такі добрива не слід застосовувати під овочеві культури, які споживаються без будь-якої обробки чи переробки. Але такі добрива можна використовувати під технічні культури, насінники. Торф з нижніх шарів можна використовувати без обмежень, оскільки туди ще не проникло забруднення.

Агротехнічні заходи передбачають зміну традиційної технології обробітку ґрунту, відміну лушення стерні, недопускати спалювання соломи і стерні. На невеликих ділянках можна застосовувати зняття поверхневого шару ґрунту на глибину 4-5 см і захоронювати його. Проводяться заходи по виключенню можливості міграції радіонуклідів.

Досить ефективним буфером є **фуроцин**, що виробляється в Росії. Ефективність його використання підтверджується практикою Біларусі, яка закупає його в значних обсягах і широко використовує. Ефект від його застосування проявляється вже на третій день.

Слід застосовувати для посіву тільки високоякісне насіння. Агротехнічні заходи повинні проводитись з врахуванням природно-кліматичних умов, сезону радіоційного забруднення. Найбільш тяжкі наслідки забезпечує забруднення у весняний період. За цих умов радіонукліди швидко включаються у трофічні ланцюги, потрапляють в рослини, організми тварин, здатні здійснювати міграційні процеси.

Контрзаходи доцільно проводити вібірково, оскільки навіть суміжні території, луки і випаси мають різний рівень забруднення.

Зоотехнічні заходи можуть включати наступне:

- перевести тваринництво на стійлове утримання;
- організувати заготівлю кормлів, що забезпечує тривале їх зберігання (силосування, сінажування тощо);
- забезпечити раціони фосфорно-кальцієвими добавками та вітамінами;
- використовувати радіопротектори, зокрема вводити до раціону йодит калію;
- проводити зоогігієнічні заходи (своєчасне видалення з приміщень гною, виключення потрапляння ґрунту до травного тракту тварин тощо);
- організувати миття проточною водою кормових буряків, картоплі, овочів, які згодуються тваринам;

- змінити спеціалізацію галузі тваринництва.

Переробка сільськогосподарської продукції повина включати миття, температурну обробку, переробку молока на масло, сир, згущене і сухе молоко. Переробка м'яса теж має здійснюватись за спеціальною технологією.

При випасанні худоби на бідних природних пасовищах, де слаборозвинений чи вибитий травостій, рівень радіонуклідного забруднення молока і м'яса може бути у кілька разів вищим, ніж на луках з добрим травостоєм. Це обумовлюється тим, що із захопленням і поїданням трави в організм тварин потрапляє дернина і ґрунт, особливо тоді, коли вони вологі чи після дощу, за таких умов рослини легко вириваються з ґрунту з брудним корінням.

Тому на природних пасовищах і луках рекомендується проводити заходи, які б, з одного боку, сприяли поліпшенню травостою, а з другого – зменшували надходження в нього радіонуклідів. Це поверхневе та докорінне поліпшення кормових угідь з вапнуванням ґрунту, внесення азотних і фосфорно-калійних добрив, що разом з підвищенням продуктивності луків і пасовищ у 2-4 рази зменшує перехід у рослини радіонуклідів. Докорінне поліпшення луків і пасовищ, крім того, включає оранку або глибоку культивуацію дисковими боронами, цілеспрямоване формування необхідного травостою.

Не рекомендується випасати худобу в лісі, де відносно великі рівні забруднення ґрунту, лісової підстилки і трав.

Вміст ^{137}Cs у траві для молочного стада не повинен перевищувати 200 Бк/кг (в сні – 800 Бк/кг, а для молочного стада з метою отримання молока для дитячого харчування – не більше 80 Бк/кг в траві, а в сні – 320 Бк/кг).

Велике значення в одержанні чистої від радіоактивних речовин продукції тваринництва має первинна технологічна її переробка. Так після сепарування молока у вершках залишається лише 8-15% радіоактивних речовин, а решта переходить у відвійки. При переробці вершків у масло значна частина радіонуклідів переходить у сколотини і промивну воду. Їхня кількість у маслі зменшується у 3-4 рази відносно до кількості у вершках. Перетоплення масла дає змогу видалити з нього практично всі радіонукліди. Переробка молока на сир теж призводить до зниження радіоактивності на 80-90%.

Радіонукліди у складі звичайних речовин є водорозчинними солями, кислотами, основами. До рослин вони надходять з ґрунтового розчину. Тому з водою вони і видаляються. Одже, будь-яке зневоднення як продукції тваринництва, так і рослинництва – віджимання, фільтрування, центрифугування (але не висушування) – дезактивує її.

Всі заходи необхідно здійснювати комплексно. Це забезпечить одержання нормальної сільськогосподарської продукції і сировини на радіаційно забруднених територіях.

Економіка радіаційної зони Полісся нині залежить від стабільності ведення сільського господарства, яке має низький рівень головним чином через дефіцит трудових ресурсів і складну демографічну ситуацію. Виришити дану проблему можна трьома шляхами:

- підвищенням врожайності зернових, кормових та технічних культур завдяки внесенню підвищеної дози мінеральних добрив;
- інтенсифікації льонарства і хмелярства;
- інтенсифікації тваринництва.

Перші два варіанти теоретично найрентабельніші, якщо нехтувати здоров'ям людей і жити в даній зоні без перспективи на майбутнє. Адже, з внесенням значної кількості мінеральних добрив відбувається розщеплення органіки і виснаження ґрунтів завдяки переробці бактеріями гумусу. А це спричинить значне підвищення в сільськогосподарській продукції нітратів. Така ситуація вплине на здоров'я людей і без того підірваного дією радіації та солей важких металів, що з'явилися тут після аварії на ЧАЕС. У подальшому може спостерігатись порушення коду інформації ДНК, збільшення випадків виникнення злоякісних пухлин, зниження гемоглобіну в крові.

Стратегічні для Полісся культури льон та хміль також негативно впливають на здоров'я людини, бо для захисту рослин від шкідників використовують отрутохімікати. Симптомокомплекс їхньої дії підсилюватиме негативний вплив на організм радіонуклідів та солей важких металів.

Актуальним для зони Полісся є перепрофілювати скотарство з молочного на м'ясний напрям продуктивності. За таких умов є гарантія одержання яловичини на дешевих кормах.

Контрольні питання

1. Охарактеризуйте радіаційну ситуацію в Україні.
2. Вкажіть основні джерела опромінення населення в Україні станом на 2011 рік.
3. Назвіть основні організаційні заходи ведення сільського господарства на радіаційно забруднених територіях.
4. Вкажіть основні агрохімічні заходи ведення сільського господарства на радіаційно забруднених територіях.
5. Вкажіть основні зоотехнічні заходи, що забезпечують одержання нормальної тваринницької продукції в умовах радіаційно забрудненого навколишнього середовища.
6. Назвіть заходи переробки сільськогосподарської продукції і сировини, що забезпечують зниження їх радіаційного забруднення.
7. Визначіть концепцію ведення сільськогосподарського виробництва на територіях забруднених радіацією.

14. БІОЛОГІЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ПРИРОДНОЇ РАДІАЦІЇ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

14.1. Природна радіація та її вплив на живі клітини. 14.2. Вплив природної радіактивності на еволюцію видів

14.1. Природна радіація та її вплив на живі клітини

Природні радіоактивні елементи в розсіяному стані містяться всюди: у повітрі, природних водах, гірських породах, мінералах, ґрунтах, в організмі рослин і тварин. Природна радіоактивність притаманна нашій планеті Земля з часів її виникнення. Опромінення від розпаду природних радіоактивних речовин і космічне супроводжувало еволюцію органічного життя на планеті. Але з цього не випливає, що природна радіація є необхідною умовою для здійснення життєвих процесів і реалізації феноменів життя. Хоча біологічне значення природного радіоактивного фону ще повністю не з'ясовано.

У радіобіології сформувалась парадигма (система понять) згідно з якою радіація є однозначно шкідлива для живих істот. Така система поглядів ґрунтується на тому, що хоча зі зниженням дози частота радіаційних ушкоджень клітин зменшується, проте найменші дози радіації здатні здійснювати навіть спадкові ураження. Хоча є й інша думка: дуже малі дози іонізуючого випромінювання або не впливають на біологічні процеси внаслідок того, що протягом еволюції види адаптувалися до незначних молекулярних ушкоджень, що виникають під впливом природної радіації, або енергія природного фону радіації в певний спосіб використовується організмом як один із факторів середовища.

Думка про біологічну потребу в малих дозах опромінення базується на беззаперечному факті присутності природної радіації при реалізації всіх форм життя і його феноменів. До речі, у давні періоди геологічної історії Землі, коли зароджувалося життя (понад 3,8 млрд років тому), рівень природної радіоактивності був значно вищим, ніж нині. Тому логічно припустити, що в процесі еволюції це джерело специфічної енергії, хоча і не потужної, могло і використовувалося для потреб біологічних систем різного рівня складності.

Спроби експериментально з'ясувати значення природної радіоактивності для життєдіяльності клітин наштовхуються на великі труднощі. Адже дуже складно створити контрольний варіант, коли б на організм не діяла природна радіація.

У сучасній радіобіології експерименти зі з'ясування впливу природної радіації на живі істоти базуються на двох підходах: 1) для максимального

зменшення інтенсивності космічних променів і опромінення від радіоактивних ізотопів використовували глибокі шахти, старане очищення речовин для поживного середовища й використання екранування стін та інших об'єктів; 2) використання калію, з якого повністю вилучали його радіоактивний ізотоп.

Вивчення дії природного радіоактивного фону на біологічні системи тривають.

14.2. Вплив природної радіактивності на еволюцію

Безпороговість генетичної дії радіації, чисельність особин, які зазнають дії малих доз радіації, факти з галузі радіаційного мутагенезу й радіаційної селекції вказують на можливу участь природного радіоактивного фону в підтриманні мінливості і біорізноманіття. Рівень опромінення, зумовлений природною радіоактивністю, може спричинити таку частоту виникнення мутацій, за якої не виключається вплив радіації на еволюцію видів.

Відомі центри походження видів характеризувалися не лише наявністю певних ландшафтних умов, що, забезпечуючи географічну ізоляцію, сприяли дивергенції (розходженню ознак) еволюції, а й підвищеними рівнями природної радіоактивності.

На етапі виникнення клітинних форм життя рівень опромінення ще залишався настільки високим, що забезпечувалася поява досить широкого біорізноманіття, з якого добиралися форми, найбільш придатні для реалізації біологічних функцій у тих чи інших конкретних умовах.

Еволюція протобіонтів завершилася появою простих організмів, які мали генетичний апарат і систему синтезу білка. Можна вважати, що від тоді радіація стала відігравати роль мутагенного фактора, який, певним чином, прискорює еволюцію видів.

Контрольні питання

1. Вкажіть основні джерела природного радіаційного фону.
2. Охарактеризуйте природну радіацію як складову довкілля.
3. Вкажіть два підходи до вивчення ролі природної радіоактивності в життєдіяльності живих істот.
4. Охарактеризуйте можливу роль природної радіоактивності в еволюції видів і формуванні біорізноманіття.

СЛОВНИК ПОНЯТІЙНИХ ТЕРМІНІВ (глосарій)

Зародження і розвиток всякої науки супроводжується появою значної кількості нових, або з новим смыслом термінів. Це стосується і радіобіології, як науки молодої, оскільки вона зародилася в 90-ті роки XIX століття. Тому є необхідність звернути увагу на розкриття суті та застосування термінів радіобіології.

Терміни – це мова науки, знання їх суті віддзеркалює ерудицію і культуру людини. Без знання термінів майже неможливо оволодіти знанням тієї чи іншої науки.

Терміни радіобіології розміщуємо за алфавітним порядком. У деяких випадках подаємо їх назву латинською чи грецькою мовами, їх старий смисл і новий, який ці термини набули в радіобіології.

А

Аберації – хромосомні аномалії, зокрема під впливом радіації.

Авторадіографія (або радіографія) - спосіб вивчення розподілу радіоактивних речовин у досліджуваному об'єкті шляхом накладання на нього чутливих до радіоактивних випромінювань фотоматеріалів (плівки, фотопаперу, фотоскла). Включає макроавторадіографію та мікроавторадіографію.

Адаптивна відповідь – одна із форм прояву гормезису за умови дії малих доз радіації.

Адронів сімейство - це протони, нейтрони мезони, з яких складається ядро атомів. Адрони є частинки не елементарні, вони складаються з кварків склесених глюонами.

Актиноїди – сімейство радіоактивних речовин 15-ти елементів, що займають одну клітину в періодичній системі елементів III-ї групи 7-го періоду

Альфа-розпад – тип спонтанного радіоактивного перетворення важких атомних ядер, що полягає у викиданні α -частинки з ядра. Альфа-розпад властивий 25 природним радіоактивним ізотопам та близько 100 штучним ядрам із дефіцитом нейтронів. Альфа-розпад зазвичай супроводжується γ -випромінюванням.

Альфа-частинки (α) – 1) це ядра гелію, що має заряд +2; 2) потік позитивно заряджених частинок ядер атомів гелію без електронів (два протони і два нейтрони), що складаються з чотирьох нуклонів – двох протонів та двох нейтронів, і характеризується дуже високою іонізуючою дією, і тому дуже небезпечні у разі проникнення всередину організму. Ці частки відносно великі і важкі, тому легко гальмуються. Рухаються зі швидкістю до 20000 км/сек. Їхній пробіг у повітрі складає декілька сантиметрів. У момент зупинки вони викидають велику кількість енергії на одиницю площі, і тому здатні причинити великі руйнування. Вони дуже небезпечні за умови інкорпорації. Область розповсюдження їх у повітрі до 10 см, тому прості екрани, одяг та інші засоби індивідуального захисту їх майже повністю затримують.

Активациі реакція – процес утворення радіоактивних ізотопів (*продуктів активациі* у повітрі ^{14}C , ^3H , ^{39}Ar , у воді – ^{24}Na , $^{31, 32}\text{P}$, $^{53, 54}\text{Mn}$, ^{35}S , ^{65}Zn та в ґрунті - ^{24}Na , ^{45}Ca , ^{27}Mg , ^{29}Al , ^{31}Si) у результаті ланцюгової реакції урану і плутонію.

Активність радіонуклідів (A) - число розпадів радіоактивних ядер за одиницю часу. Одиниці активності в системі СІ - беккерель (Бк) відповідає одному розпаду радіоактивного ізотопу протягом секунди. Кюрі (Ки) – позасистемна одиниця активності радіонуклідів, $1 \text{ Ки} = 3,7 \times 10^{10}$ актів ділення протягом секунди. 1 Ки відповідає приблизно активність 1 г радія.

Активність піврозпаду – число радіоактивних перетворень за одиницю часу, вимірюється в міжнародній системі в беккерелях (Бк), а позасистемна одиниця – кюрі (Ки).

Актиноїди – 15 хімічних елементів з порядковими номерами від 89 до 103, але займають одну клітину в періодичній системі елементів III-ї групи, 7-го періоду. До актиноїдів відносяться торій, протканій, уран, плутоній, нептуній, америцій, кюрій, берилій, каліфорній, ейнштейній, фермій, менделевій, нобелій, лоуренсій. Всі елементи від номера 82 і вище є радіоактивними.

Ампліфікація гена – збільшення кількості генів, гігантизм ДНК та хромосом, як ознака втрати контролюючих ці процеси факторів.

Анаплазія – процес руйнування структури клітини.

Ангіографія – рентгенографічні дослідження кровоносних судин.

Адрони – частинки, що характеризуються сильною взаємодією, з них, можливо, складаються елементарні частки.

Анігіляція (лат. annihilation – знищення, зникнення) – фізичне перетворення елементарних частинок і античастинок при їх взаємодії в інші

частинки, наприклад, протона й антипротона в кілька мезонів, електрона і позитрона – у два фотони; 2) взаємодія електрона зі своєю античастинкою – позитроном, унаслідок чого утворюється γ -фотон з енергією 1,02 МеВ.

Антеридій (гр. *antheros* – цвітучий) – статевий орган грибів, де формуються статеві клітини. Антеридій є найбільш чутливий до радіації орган грибів.

Анігіляція – процес перетворення пари електрон-позитрон у пару гамма-квантів; утворення квантів потужного випромінювання при зіткненні античастинок.

Античастина – це частина – двійня іншій елементарній частині, що володіє тією ж масою і тим же спіном, але відрізняється від неї знаком.

Апоптоз (грц. опадання листя) – явище запрограмованої загибелі клітин, що супроводжується набором характерних цитогенетичних ознак у відповідь на зовнішні фактори; програмована, що піддається складній регуляції, загибель клітин після опромінення у результаті дії різних токсичних продуктів; це відповідь на фізіологічні сигнали та ушкодження. Апоптоз характеризується самознищенням клітин, тобто, такою загибеллю клітин, в якій приймає участь сама клітина. Апоптоз може прискорювати процес старіння. При апоптозі клітини сплющуються і зменшується їх об'єм, а при некрозі, навпаки, набрякають. Апоптоз є корисним при ембріогенезі, він сприяє підтримці гомеостазу. Апоптоз може сприяти знищенню клітин-мутантів, клітин з деформацією ДНК, і діє заради збереження цілісності макроорганізму. Апоптоз спостерігається при ураженні клітин вірусом, ракових. Апоптоз здійснюється внаслідок дії багатьох ферментів, як самої клітини, так і інших клітин-сусідів.

Для клітин, які піддаються апоптозу, характерне:

- стиснення клітин – зменшення в розмірах, цитоплазма ущільнюється, органоїди розміщуються більш компактно;
- конденсація хроматину на периферії під мембраною ядра, при цьому утворюються чітко окреслені щільні маси різної форми і розмірів, ядро може розриватися на два або декілька фрагментів;
- формування в цитоплазмі порожнин і апоптичних тілець, які складаються з цитоплазми і щільно розташованих органоїдів, або з фрагментів ядра;
- фагоцитоз апоптичних клітин навколишніми здоровими клітинами, макрофагами, паренхіматозними.

Апоптоз – це генетично контрольована смерть клітин. Виявлено гени, які кодують речовини, необхідні для регулювання апоптозу. Апоптоз може регулюватися зовнішніми чинниками (наприклад, іонізуюча радіація) і автоматичними механізмами.

Асимптоматичний – той, що необмежено наближається.

Астрофізика – розділ астрономії, що вивчає фізичну природу космічних тіл і процеси, що відбуваються в них.

Атом (грец. *Неподільний*, термін введений в науку давньогрецькими вченими Демокрітом і Левккіпом) – мікроскопічна елементарна і певною мірою

невичерпна частинка хімічного елементу, що є носієм властивостей цього елементу. Атом вивчає наука “ядерна фізика”. Модель будови атома, відкрита Н. Бором у 1922 році і відповідає за схемою моделі планет, всесвіту. У будові моделі атома чітко виражена симетрія. Можна уявляти атом як позитивно заряджену сферу, в яку вкраплені негативні електрони. Модель будови атома подібна до будови сонячної системи, де ядро Сонце, а планети – електрони на своїх орбітах. Розміри атома – його діаметр дорівнює стомільйонній частці сантиметра.

Атомне ядро – центральна частина атома, де зосереджена основна його маса. Маса ядра в 4000 разів більша маси електронів. Діаметр ядра більше, ніж в 100 тисяч менший за діаметр атома.

Б

Базон – елементарна частинка атома.

Баріони (грец. **barys** – *тяжкий*) – сімейство елементарних частинок, сильно взаємодіючих ферміонів; “тяжкі” елементарні частинки з спіном $\frac{1}{2}$ і масою, що не менше маси протона. До баріонів відносяться протони, нейтрони, гіперіони і резонанси. Баріони представляють матерію і антиматерію, частинки і античастинки. Матерія складається з баріонів і електронів.

Безпека радіаційна – заходи, спрямовані на запобігання ураженню населення від іонізуючого опромінення. Річна норма опромінення в Україні встановлена для професіоналів (група А) 5 рентген (5 бер); для населення, як проживає поблизу АЕС (група Б) – 0,5 бер.

Беккерель – активність нукліду в радіоактивному джерелі (А), позначається “Бк”, міжнародне позначення “Bq”. Беккерель дорівнює одному розпаду за секунду.

Бер – енергія будь-якого виду випромінювання, яка поглинається 1 г тканини, при якій спостерігається той же біологічний ефект, що і при поглиненій дозі в 1 рад фотонного випромінювання або в 1 рентген гамма-променів; біологічний еквівалент рентгена, позасистемна одиниця еквівалентної дози опромінення людини іонізуючим випромінюванням (1 бер = $1 \cdot 10^{-2} \text{Зв} = 1 \text{сЗв}$)

Бета-розпад – тип спонтанного радіоактивного перетворення нестабільних атомних ядер. *Електронний β -розпад* полягає у викиданні з ядра електрона, який утворюється внаслідок перетворення нейтрона на протон. *Позитронний β -розпад* полягає у викиданні з ядра позитрона, що виникає внаслідок перетворення протона на нейтрон. Бета-розпаду зазнають 20 природних і понад 1000 штучних радіоактивних ізотопів. Ці речовини можуть бути джерелом електронів і γ -випромінювання.

Бета-частинка (β) – потік негативно заряджених прискорених електронів ядерного походження, що випромінюються ядром радіоактивних елементів при їх розпаді або античастинок електронів (позитронів, які позитивно заряджені). Швидкість їх руху може досягати швидкості світла. Проникаюча здатність

бета-частинок менша, ніж у гама-променів, але іонізуюча дія у сотні разів більша. Їхній пробіг у повітрі складає декілька метрів. Тонкий одяг здатний зупинити потік бета-радіації, а щоб одержати опромінення, джерело бета-радіації необхідно помістити усередину організму.

Бозон (від прізвища фізика *Бозе*) – спільна назва фотона, глюона, мезона; це частинка з цілим значенням спіна; частинка, яка, за відповідною гіпотезою, пов'язує (об'єднує) в єдине ціле гравітаційні, електромагнітні, магнітні поля.

БРЕСТ – швидкий реактор із свинцевим теплоносієм на АЕС.

Бридер – швидкий реактор, що дає можливість більш ефективно використовувати ресурси атомного палива.

Бутлерова О.М. правило - нескінчена різноманітність явищ зводиться до малого числа причин.

В

Важкі метали – частіше до важких металів відносять ті, що є біологічно токсичними. Наприклад свинець, ртуть не мають біологічної користі і є токсичні. Іноді до важких металів відносять ті, що мають атомну масу більше 50. У такому випадку до важких металів включають всі метали, починаючи з ванадію.

Вакуум (лат. *пустота*) – у квантовій теорії поля, низший енергетичний стан квантового поля. Середнє число частинок – квантового поля – у вакуумі дорівнює нулю, але у вакуумі може відбуватися народження віртуальних частинок, які впливають на фізичні процеси (давно існує гіпотеза про спонтанне, довільне народження атомів у космічному вакуумі). Вакуум немає точкових частинок з масою, але він насичений енергією, наприклад у формі електромагнітних хвиль, гравітаційних сил тощо. Космічний вакуум не є пустота з температурою абсолютного нуля, це активна область максимальної енергії нам доступного Космосу. Космічний вакуум – океан енергії, до якого окремими островами вкрапані згустки енергії у вигляді зірок, планет, туманностей тощо.

Вакуум є якби чисте щось, яке за різних і любих впливів на нього не змінюється, а залишається вакуумом. Особливістю вакуума є те, що в ньому є поля з енергією рівною нулю без реальних частинок. Це електромагнітне поле без фотонів, це піонне поле без пі-мезонів, електронно-позитронне поле без електронів і позитронів. Ці поля коливаються і внаслідок коливань тут можуть утворюватися частинки, хоча живуть вони не довго.

Валентні електрони – це електрони зовнішньої оболонки атома, які визначають його валентність.

ВВЕР – водо-водний енергетичний реактор на АЕС. До цього типу належать всі реактори на АЕС України.

Взаємодії (фундаментальні) в природі – слабкі і сильні До слабких відносять гравітаційні та електромагнітні взаємодії, а до сильних – ядерні.

Відкриті джерела радіації – це такі джерела, де радіоактивні речовини знаходяться у такому стані (пил, порошок, розчин), що невиключає розповсюдження його у зовнішньому середовищі; такі джерела, речовини і устрої, експлуатація яких не виключає надходження радіації до навколишнього середовища.

Відносна біологічна ефективність (ВБЕ) випромінювання – відношення поглинутої дози стандартного випромінювання, що викликає певний біологічний ефект, до поглинутої дози радіації, що вивчається, яка дає такий самий ефект, наприклад, загибель 50% клітин або піддослідних тварин; тобто, це коефіцієнт, який характеризує відносну ефективність діїрадіації з різними значеннями ЛПЕ щодо певного біологічного ефекту.

Віртуальний (лат.) – можливий, той, що може або повинен проявитися за певних умов; 2)умовний, гаданий; 3) створений засобами комп'ютерної графіки.

Внутрішнє (інкорпороване) іонізуюче опромінення – опромінення, що утворюється внаслідок проникнення та накопичення радіоактивних ізотопів в середині організму.

Водень (протій) – найпростіший хімічний елемент, атом якого складається з одного протона і одного електрона. Водень може приєднувати один нейтрон, перетворюючись в тяжкий водень – дейтерій (другий), і два нейтрони, утворюючи радіоактивний тритій (*третій*).

Вплив атомних електростанцій (АЕС) на навколишнє середовище – локальний механічний на рельєф, газові й аерозольні викиди в атмосферу, забруднення ґрунтових вод хімічними і радіоактивними компонентами, зміна характеру землекористування на прилеглих територіях, зміна мікрокліматичних характеристик прилеглих районів, створення могутніх джерел тепла у вигляді градирень, вплив на флору і фауну прилеглих районів, поширення радіоактивних речовин у навколишньому просторі тощо, а також певний вплив на людину. Все це може бути постійним і контрольованим, а також аварійним (залповим) і не контрольованим. Вплив АЕС на довкілля можна розподіляти на первинний і вторинний.

Вторина радіаційна патологія – атрофія, розростання сполучної тканини, фіброз лімфоїдної тканини в селезінці та лімфатичних вузлах, некроз печінки; поява інфекційних захворювань легень, нирок тощо.

Втручання - різновид людської діяльності, що завжди спрямований на зниження і запобігання неконтрольованого і непередбаченого опромінення чи імовірності опромінення в ситуаціях:

- аварійного опромінення (гострого, короткочасного чи хронічного);
- хронічного опромінення з боку техногенно підсилених джерел природного походження;

- інших ситуаціях тимчасового опромінення, визначених регулюючим органом як такі, що потребують втручання.

“Вхідні ворота радіації” - це шляхи надходження (через органи дихання, травлення, шкіру) радіоактивних речовин в організм.

Г

Гази радіоактивні – радон, торон, вуглець-14, тритій. Радон і торон надходять із земних порід, тритій утворюється з водні, вуглець-14 з вуглецю.

Гальмівне електромагнітне випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що генерується під час гальмування зарядженої частинки в електричному полі.

Гальмівне випромінювання – фотонне випромінювання з безперервним спектром, що виникає при зменшенні кінетичної енергії заряджених часток унаслідок їх гальмування в полі ядра атома важких металів; це фотонне випромінювання з неперервним спектром, котре виникає при зміні кінетичної енергії заряджених частин.

Гама-випромінювання (γ) – короткохвильове електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі $(1000-1) \cdot 10^{-8}$ м і енергією більше 250 КеВ, а також електромагнітне випромінювання радіонуклідів (незалежно від енергії), що виникає при розпаді радіоактивних ядер та елементарних частинок і при взаємодії швидких заряджених частинок з речовиною. Гама-випромінювання – потік електромагнітних хвиль; це як і радіохвилі, видиме світло, ультрафіолетові і червоні промені, а також рентгенівське випромінювання. Різні види електромагнітного випромінювання відрізняються умовами створення та певними властивостями (довжина хвилі, ергія). Гама-випромінювання – випромінювання ядерного походження. Воно вилучається ядрами атома при альфа- та бета-розпаді природних і штучних радіонуклідів у тих випадках, коли в дочерньому ядрі виявляється надлишок енергії не охоплений корпускулярним випромінюванням (альфа- та бета-частинками). Цей надлишок виділяється у вигляді квантів. Швидкість розподілу їх у вакуумі дорівнює швидкості світла ($3 \cdot 10^{10}$ см/с). Гама-промені здатні проникати через різноманітні матеріали. Вони становлять основну небезпеку для людей і тварин. Енергія гама-часток набагато більша енергії фотонів. Ці частки володіють великою проникаючою здатністю, тому гама-випромінювання є єдиним із трьох типів радіації, здатної опромінити організм зовні.

Гама-кванти – фотони, позбавлені маси спокою. Це означає, що фотони існують лише під час руху. Вони не мають заряду в електричному і електромагнітному полі не відхиляються, рухаються прамолінійно і рівномірно. Швидкість розподілу їх у вакуумі дорівнює швидкості світла ($3 \cdot 10^{10}$ см/с).

Гама-поле – це така польова ділянка, що обладнана джерелом γ -випромінювання, яке створює поле випромінювання на території, де вирощуються рослини або підтримуються певні типи біоценозів. Використовуються гама-поля у дослідженнях із радіаційної генетики, а також

для вивчення наслідків хронічного опромінення штучних і природніх біоценозів.

Генетична дія іонізуючої радіації – пошкодження спадкового механізму клітини, що передається її потомству.

Генетичний ефект – здатність іонізуючого випромінювання діяти не тільки на даний живий організм, але і на його потомство, тобто змінювати спадковість.

Генетично значима еквівалентна доза (ГЗД) – доза радіації, яка викликає ті чи інші спадкові ураження у потомства опроміненого організму (те, що і вихідна доза отримана ним). Вона обумовлюється двома факторами: 1. вірогідністю того, що пацієнт потім буде мати дітей; 2. дозою опромінення гонад.

Гібридизація орбіталей – видозмінення атомних орбіталей, їх деформація при утворенні молекул хімічних сполук і їх перетворення в молекулярні орбіталі.

Гігантизм клітин – системна відповідь на іонізуюче опромінення, що виражається утворенням гігантських клітин. Наприклад, такі клітини було виявлено в опроміненій культурі арахісу (*Arachis hypogaea*)

Гіперіони (грец. *hyper* – *зверху, високий*) – нестійкі баріони з масою, більшою маси нейтрона і тривалим періодом життя у порівнянні з ядерним часом. Гіперіони володіють особливою внутрішньою характеристикою – дивовижністю, химерністю. Існують гіперіони *лямбда, сігма, ксі, омега*.

Глобальне радіаційне забруднення – радіаційне забруднення поверхності землі і Світового океану, що сформувалося за рахунок радіоактивних випадань при масовому випробуванні атомної зброї, аварій на крупних радіаційних об'єктах, наприклад, на Чорнобильській, Фукусіма-1 та інших АЕС.

Глюони (анг. glue = клей) – 1) елементарно нейтральні частинки з нульовою масою та спіном 1, які здійснюються взаємодією між кварками. Ці частинки можуть володіти звичайними, електрослабими і сильними взаємодіями; 2) речовина матерії, що склеює між собою кварки (найдрібніші частинки матерії, з яких складаються протони і нейтрони).

Голограма – об'ємне зображення, одержане методом голографії.

Голографія (грц. holos – весь, повний + графія – запис, зображення) – 1) спосіб одержання об'ємного зображення предмета, що ґрунтується на інтерференції двох променів світла, один із яких іде безпосередньо від лазера, а другий висвітлює предмет, відбившись від дзеркала; 2) набір технологій для точного записування, відтворення і переформування хвильових полів, запропонований у 1947 році венгерським фізиком Денисом Габором, за що він одержав Нобелівську премію у 1971 році.

Гормезис радіаційний – стимуляція росту і розвитку організмів рослин і тварин за умови їх опромінення в малих дозах; радіаційний гормезис – це за умови малих доз опромінення можуть індукуватися як би позитивні біологічні

процеси і здійснення стимулюючої дії на організм, зростає швидкість ділення клітин, може подовжуватися тривалість життя біологічного об'єкту. Поняття “радіаційний гормезис” введено в науку в 80-ті роки ХХ століття і трактувався так, що коли великі дози радіації діють на організм негативно, то малі – позитивно. Але з часом ці погляди розділилися на діаметрально протилежні. Сьогодні вважається, що не існує таких малих доз радіації, які не можуть бути шкідливими, що до іонізуючої радіації не може бути адаптації.

Гостре опромінення – якщо опромінення здійснюється протягом короткого проміжку часу, за який не встигає змінитися його фізіологічний стан організму або клітини.

Гостре фракційне опромінення – якщо нагромадження дози досягається внаслідок кількаразового гострого опромінення відповідною дозою. Якщо часткові дози однакові, то мова йде про *еквівалентне фракційне опромінення*, а коли ці порції дози різні – *нееквівалентне*. Ці порції дози можуть бути однаковими або різними.

Гравітація (лат. gravitastis = вага) – всесвітнє тяжіння, що змушує притягатися одну до одої будь-які частинки матерії – від велетенських галактик до мікроскопічних частинок. Це найслабша взаємодія. Гравітація має свої квантові поля, створює розшарування простору, створює проблеми релятивістської (відносної) астрофізики. Гравітація дозволяє визначати силу ваги та прискорення у різних точках земної кори.

Гравітон – елементарна частинка поля гравітації; квант-переносник гравітаційної взаємодії, елементарна частинка без електричного заряду із спіном 2 і двома можливими напрямками поляризації. Фотон взаємодіє тільки з електрично зарядженими частинками, а гравітон – з всіма, він є представником всесвітнього тяжіння. Це найдрібніші всепроникні і всесильні частинки матерії. Термір у науку введений у 1930 році російським фізиком Д.І. Блохонцевим.

Гранична доза – гранична індивідуальна еквівалентна доза за рік, яка при рівномірному впливові протягом 70 років не викличе в стані здоров'я людини неблагодієвливих змін.

Граничне річне надходження (ГРН) – це таке надходження радіації в організм протягом року, яке за 70 років створить у критичному органі організму еквівалентну дозу, рівну граничній дозі (ГД).

Гранично допустиме надходження – це таке надходження радіоактивних речовин в організм протягом року, яке за 50 років створить у критичному органі еквівалентну дозу, рівну 1 ГДК.

Грей – одиниця поглиненої дози радіації будь-якого виду, яка передана опроміненій речовині масою 1 кг, позначається “Гр”, міжнародне позначення – “Gy”. При одноразовому опроміненні до 0,25 Гр видимих ушкоджень нема, вже при 4-5 Гр смертельні випадки складають 50%, а при 6 Гр і більше – летальні наслідки спостерігаються у 100%. Грей дорівнює нормі, за якої сумарна кінетична енергія заряджених частинок, звільнених 1 кг речовини в полі непрямого іонізуючого випромінювання дорівнює 1 Дж.

Грей за секунду – одиниця поглиненої дози випромінювання; 1 Гр – це така поглинена доза, при якій 1 кг опроміненої речовини поглинає енергію в 1 Дж, отже 1 Гр = 1 Дж; сила поглинання дози випромінювання, позначається “Гр/с”, міжнародне позначення – “Gy/s”, потужність поглинутої дози, що дорівнює 1 Дж на кг за секунду.

Групи критичних органів - Виділяють такі три групи:

- 1 група – все тіло, гонади, червоний кістковий мозок;
- 2 група – щитовидна залоза, легені, печінка, селезінка, шлунково-кишковий тракт, хрусталик ока та інші органи, які не віднесені до 1 та 3 груп;
- 3 група – кісткова тканина, шкіра, кістки передпліччя, ступні та долоні.

Групи радіотоксичності – таких груп виділяють чотири наступні:

- група А – радіонукліди особливо високої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 0,1 МкКу (Pb^{210} , Po^{210} , Ka^{226} , Pu^{239} , Pu^{240} , Am^{241});
- група Б – радіонукліди високої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 1 МкКу (St^{30} , J^{131} , Ru^{136} , Ra^{223});
- група В – радіонукліди середньої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 10 МкКу (Na^{24} , P^{32} , S^{35} , K^{42} , Mn^{56} , Co^{60} , St^{89} , Cs^{134} , Cs^{137} , Ba^{140} , Ce^{144}); Група Г – радіонукліди малої радіотоксичності, допустима активність яких на робочому місці дорівнює 100 МкКу (H^3 , C^{14} , P^{33} , Cu^{64} , Pt^{197}).

Д

Дезактивація - видалення радіоактивних речовин з окремих територій місцевості, споруд, засобів транспорту, одягу, продовольства, води, тіла тварин і людини та інших предметів, будь-якої поверхні чи середовища або зниження рівня забруднення фізичними, хімічними засобами. Дезактивація – це один із видів знезараження, що включає два такі способи: - механічний (змітання щітками тощо, витрушування олягу, здування, змивання водою тощо); фізико-хімічний (передбачає застосування розчинів спеціальних препаратів і поверхнево активних речовин. Механічний спосіб дезактивації є простим, доступним і здійснюється зразу після виходу із зони забруднення. Механічний і фізико-хімічний способи один рдного доповнюють

Дейтерій (лат. *Deuterium* – другий) – тяжкий врдень, стабільний ізотоп водню з масовим числом 2. Ядро атома дейтерію складається з протона, нейтрона. Коли дейтерій з’єднується з киснем утворює важку воду. Відкритий дейтерій Г. Юрі у 1932 році. У природі зустрічається у вільному стані і в хімічних сполуках D_2O . Важкої води в складі звичайної води міститься 0,015%.

Дейтрони (грц. *deuteros* = другий) – ядра дейтерію, що складається з одного протона та одного нейтрона – ізотопу водню з масовим числом 2.

Детерміністичні ефекти (соматичні) – це зміни в органічних системах при опроміненні великими дозами, по відношенню до яких є поріг. Вони підрозділяються на гострі, підгострі і хронічні. До них відносяться локальні

ураження: променеві опіки шкіри, катаракта, стерилізація, а також віддаленні наслідки: радіосклеротичні процеси, радіоканцерогенез. При цьому вивчають адаптивну відповідь організму на опромінення за умови дії малих доз (зростання стійкості до дії радіації; стимуляція проліферативних процесів бактеріальних, тваринних і рослинних клітин у культурі та *in situ*, інтенсифікація різних біохімічних і фізіологічних процесів). З детерміністичними ефектами пов'язані дози опромінення і поглинання радіації – $L_{д50\%}$ (напівлегальна), $L_{д75\%}$ (критична), $L_{д100\%}$).

Дефектоскопія – використання радіації для виявлення дефектів деталей тощо.

Джерело іонізуючого випромінювання (ДІВ) - об'єкт у будь-якому агрегатному стані, який містить радіоактивні речовини, чи технічний пристрій, що випускає, або за визначених умов може випускати іонізуюче випромінювання, на які поширюється дія санітарних норм і правил. Такими джерелами можуть бути речовини, що існують у навколишньому середовищі і виділяють радон; γ -випромінювальна установка для радіаційної стерилізації, яка використовується для опромінення харчових продуктів; рентгенівська установка, яка використовується з метою радіодіагностики; радіоактивні речовини, радіоактивні відходи (РАВ), ядерні матеріали; ядерна установка чи призначені для роботи з РАВ об'єкти; комплексні ядерні установки (атомна електростанція) чи безліч установок, розташованих в одному місці або на одному майданчику можуть розглядатися як єдине джерело.

Джоуль – інтегральна доза випромінювання, позначається “Дж”, міжнародне позначення- “J”.

Диференційована клітина – зріла клітина, яка не схильна до поділу.

Доза – міра дії іонізуючого випромінювання у визначеному середовищі. Виражається величиною ефекту іонізації (так звана експозиційна доза, що характеризує джерело випромінювання) або кількістю поглинутої (тканинами, організмом) енергії випромінювання. Одиниці дози радіації: експозиційна – рентген (r) – викликає утворення 1 см² повітря за нормальних умов $2,8 \cdot 10^9$ пар іонів. $1 \text{ r} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ кл/кг; поглинута – грей (Гр) – відповідає поглиненню енергії в 1 Дж масою опроміненої речовини в 1 кг; $1 \text{ рад} = 10^{-2}$ Гр. 1 міллірентген (Нр) = 10^{-23} r; 1 мікрорентген (НКр) = 10^{-6} r

Доза випромінювання – величина поглинутої енергії випромінювання в одиницях маси опроміненої речовини.

Доза еквівалентна (Дн) – характеризує оцінку впливу різних видів випромінювання на організм людини.

Доза іонізуючої радіації, яку систематично одержує людина ($D_{\text{заг}}$ – загальна доза) визначається за формулою $D_{\text{заг}} = D_{\text{зовн}} + D_{\text{внутр}} + D_{\text{інгал}}$ де:

$D_{\text{зовн}}$ – зовнішня доза формується випромінюванням природних радіоактивних елементів, космічним випромінюванням, випромінюванням штучних радіоактивних ізотопів, які потрапляють у навколишнє середовище в результаті атомних вибухів, роботи та аварій на підприємствах атомної енергетики,

випромінювання рентгенівських апаратів та інших джерел, які опромінюють людину;

$D_{\text{внутр}}$ – це доза опромінення, яку людина одержує внаслідок надходження всередину організму з продуктами харчування водою як природних, так і штучних радіоактивних ізотопів;

$D_{\text{інгал}}$ – доза інгаляційного опромінення, яка формується за радіоактивних речовин, що потрапляють в організм через органи дихання з повітрям у вигляді найдрібніших радіоактивних пилинок. У принципі, це частка дози внутрішнього опромінення, але утворюється вона специфічним шляхом і не залежить вмісту радіоактивних ізотопів у продуктах харчування та воді.

На підставі структури $D_{\text{заг}}$ забезпечується система протирадіаційного захисту та радіаційної безпеки.

Доза експозиції – кількість енергії рентгенівського або гама випромінювання, поглинутої одиницею маси повітря.

Доза випромінювання – величина, що використовується для оцінки дії іонізуючого випромінювання на різні речовини і живі організми.

Доза коммитметна – очікувана доза опромінення, застосовується в радіаційному захисті, гігієні та зоогігієні.

Доза опромінення – величина енергії, поглинута одиницею об'єму або маси речовини, що опромінюється.

Доза поглинання (D_p) – кількість енергії будь-якого виду випромінювання, поглинута одиницею маси опроміненої біологічної речовини.

Дозовий поріг – межа дозового навантаження у разі перевершення якої проявляється ефект дії радіації.

Дозиметрія іонізуючого випромінювання – 1. галузь прикладної ядерної фізики і радіобіології, де розглядаються фізичні величини, що характеризують дію іонізуючої радіації на об'єкти живої і неживої природи, властивості іонізуючого випромінювання, хімічні взаємодії випромінювання з речовиною, а також методи і прилади вимірювання цих величин. 2. сукупність методів вимірювання дози іонізуючої радіації.

Доза поглинута – доза, що характеризує енергію іонізуючого випромінювання, поглинутого одиницею маси опроміненої речовини., вимірюється в греях (Гр) ($1\text{Гр} = 1\text{ Дж/кг}$). Застосовується і позасистемна одиниця рад ($1\text{ рад} = 0,01\text{ Гр} = 0,01\text{ Дж/кг}$).

Допустима доза – сумарна доза радіації, яку одержує людина протягом 5 (п'яти) тижнів.

Е

Еквівалентна (ефективна) доза або біологічна (H) – є мірою біологічного впливу випромінювання на конкретний організм, тобто є індивідуальним критерієм небезпеки, зумовленим іонізуючим випромінюванням; це поглинута доза, в якій ураховано поправку на якість

випромінювання й на тканину, тобто добуток поглинутої дози на коефіцієнт зважування на тип випромінювання; характеризується оцінкою впливу будь-якого виду випромінювання на організм людини, вимірюється у зівертах ($1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$). Позасистемною одиницею служить бер (біологічний еквівалент Рада). $1 \text{ бер} = 0,013 \text{ Зв}$. Еквівалентна і ефективна доза поняття тотожні.

Екліптика – площина, в якій рухається Земля навколо Сонця.

Еколого-токсикологічна концепція – система теоретичних розробок і практичних заходів щодо упередження і запобігання “отруєння” і деградацію екосистем шкідливими різноманітним впливом фізичними (пил, шум, тепловий фактор, механічний вплив), хімічними (токсини, гербіциди, пестицидів, радіонукліди, метали, амінів, вуглекислого газу, азоту тощо) антропогенними факторами через надмірне навантаження.

Експозиційна доза (D_x), (кулон на кілограм) – характеризує іонізуючу спроможність випромінювання в повітрі; експозиційна доза фотонного випромінювання, при якій корпускулярна емісія в сухому атмосферному стані масою 1 кг виробляє струми, що несуть заряд кожного знака, вимірюється у зівертах ($1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг}$). Визначається H як добуток поглинутої дози (D) на середній коефіцієнт якості (Q) іонізуючого випромінювання в елементарному об’ємі біологічної тканини стандартного складу: $H = D \times Q$. Експозиційна доза (D_x) або фізична – кількість енергії рентгенівського або γ -випромінювання, поглинене одиницею маси повітря; кулонів на кілограм маси. За одиницю експозиційної дози приймають кількість кулонів на 1 кг маси. Вимірюється в рентгенах/сек. Експозиційна доза – основна характеристика взаємодії іонізуючого випромінювання і середовища, це іонізуючий ефект. В системі СИ одиницею виміру експозиційної дози є кулон на кг (Кл/кг), а позасистемною одиницею є рентген (Р), $1 \text{ Кл/кг} = 3880 \text{ Р}$. За експозиційною дозою можна визначати потенційні можливості іонізуючого випромінювання.

Електричний струм – рух вільних електронів.

Електромагнітне поле – поле відкрите Генріхом Герцем, де діють електромагнітні зв’язки.

Електрон (грец. – *стійкий*) – стабільна, негативно заряджена елементарна частинка, одна із структурних одиниць атома, відкрита Дж. Дж. Томсоном (1856-1940) у 1897 році. Електрони знаходяться на електронних орбітах атома. Символ електрона « e^- ». Маса електрона дорівнює $9,2 \times 10^{-31}$ кг. Його тривалість життя перевищує $4,6 \times 10^{-26}$ років. Електрони відносяться до класу лептонів. Антипод електрона – позитрон. Електрон об’єднуючись з позитроном утворюють нейтрино.

Електронвольт (еВ) – енергія, яку отримує електрон при проходженні в електричному полі з різницею потенціалів в 1 вольт. Величина енергії, рівна тисячі еВ, називається кілоелектронвольт (кеВ), а рівна мільйону еВ – мегаелектронвольт (МеВ).

Електронний рівень – первинні механізми процесів життя в організмі, що протікають на електронному рівні.

Елементарний – першопочаткова і наменша частинка елемента, певної якості аж до космічної і всеохоплюючої матерії.

Елімінація (лат. *eliminare* – виключити, усунути) – Загибель окремих особин або цілих груп організмів (видів, популяцій) у наслідок природних причин. Розрізняють елімінацію вибірккову (природній відбір), і не вибірккову (загальна елімінація).

Елімінація радіаційна – усунення радіаційного ураження клітин, тканин, органів.

Еманація (лат. *emanatio* - витікання) – 1) радіоактивний хімічний елемент, символ Em, атомний номер 86. Суміш трьох ізотопів: актинону An, торону Tn і радону Rn, які є продуктами радіоактивного розпаду відповідно *актинію, торію і радію*. Іноді еманацію ототожнюють з її ізотопом – *радоном*. 2) теолого-філософський термін, що означає витікання, випромінювання з божественного начала всієї різноманітності світу; 3) випромінювання, витікання чого-небудь звідки-небудь (наприклад, енергії); 4) Еманація – процес за сутністю протилежний еволюції.

Еманаціологія – процес, за напрямом протилежний еволюції. Якщо еволюція передбачає процес удосконалення розвитку на його кінці. То еманація, навпаки, передбачає процес, що рухається від найбільш досконалої форми до примітивної, до виснаження певної властивості і особливостей (наприклад, розвиток Сонця, Всесвіту, певної системи, онтогенезу тощо) . Еманаціології, певною мірою, підлягає і радіоактивність, що з часом згасає. Еманаціологія – це наука, в основі якої лежить такою ж мірою глибока теорія, як і в основі еволюції.

Енергія (грец. *дія, діяльність*) – загальна кількісна міра різних форм руху матерії. У фізиці розрізняють енергію механічну, теплову, електромагнітну, ядерну, гравітаційну. Енергія поєднує в одне ціле всі явища природи. Люба форма енергії є матеріальною. Енергія і матерія органічно поєднуються формулою Ейнштейна $E = mc^2$.

Ефект Петко – сильний радіаційний ефект дуже малих доз радіації за умови їх тривалої дії. Ефект Петко пов'язаний з ураженням радіацією мембран.

Ефект «свідка» - це контакт клітин, які не опромінені, з клітинами, які піддалися опроміненню. З ефектом «свідка» пов'язаний цитотоксичний ефект, а також поняття радіоміметики.

Ефективна доза (D_{ef}) - це доза, в якій ураховано поправку на тканини. Одиниця ефективної дози дорівнює 1 Зв.

Ефективна еквівалентна доза – еквівалентна доза, помножена на коефіцієнт, що враховує різну чутливість різних тканин до опромінення. Вона також вимірюється у зівертах

Ефективна енергія – повна енергія, що поглинута організмом, яка відповідає одному розпаду радіоактивного ізотопу.

Забруднення радіаційне - присутність радіоактивних речовин у кількостях, що перевищують затверджені Міністерством охорони здоров'я України нормативні величини в матеріалах чи на їх поверхні, на поверхні тіла людини або в іншому місці, де вони небажані або можуть зашкодити.

Закон Бергоньє-Трибонто – у 1906 році французькі біологи встановили, що радіочутливість має пряму залежність від проліферативної активності.

Закриті джерела радіації – будь-які джерела, що знаходяться у такому фізичному стані, при якому неможливе розповсюдження радіації у навколишньому середовищі; речовини, устрої, що в передбачених умовах їх експлуатації, виключається надходження радіації до навколишнього середовища.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) - засоби, що перешкоджають надходження радіонуклідів до організму тварин і людини. ЗІЗ класифікують так: комплексні - спеціальні скафандри, ізолюючі костюми); засоби захисту тіла або дерматологічні (костюми, халати, накидки, фатуки); засоби захисту рук (рукавиці, печатки, нарукавники); засоби захисту ніг (бахали, чоботи, ботинки, черевики, тапки); засоби захисту очей (окуляри, щитки лицеві); засоби захисту голови (каски, шапки, берети, косинки); засоби захисту органів дихання (протигази, респіратори, марлеві пов'язки); засоби захисту органів слуху (навушники, затички).

Захисна оболонка (у межах даного документа) - методи чи технічні пристрої (споруди), які запобігають розсіюванню радіоактивних речовин.

Захисні системи організму ссавців – кров, імунна система, шкіра та її похідні. Кров, як лімфоїдна тканина, виконує комплекс захистних функцій. Імунна система (центральна і периферична) являє собою сукупність лімфоїдних органів і тканин. Вона виконує важливі захистні реакції (часто неспецифічні). Захисна функція шкіри виражена захистом організму від втрати води, хвороботворних мікроорганізмів, механічних уражень, а також приймає участь у терморегуляції та імунних реакціях тощо.

Захисний бар'єр безпеки від радіації - сукупність елементів будівельних та інших конструкцій, які, огороджуючи простір навколо джерела іонізуючого випромінювання, утворюють передбачену проектом межу і перешкоджають поширенню радіоактивних речовин у виробничі приміщення та навколишнє середовище в кількостях, що перевищують установлені межі.

Захисна система організму – система крові + нервова система + імунна система + шкіра.

Збуджений стан – це такий стан атомів чи молекул, коли вони мають енергію, більшу ніж в основному стані; це високий енергетичний стан атома чи молекули при проходженні через речовину іонізуючого випромінювання, що збуджує їх, переводячи до такого стану.

Зіверт – доза еквівалентна будь-якого опромінювання (зовнішнього, інкорпорованого в системі СУ), поглинена 1-ним кг біологічної тканини, утворює такий же біологічний ефект, як і поглинена доза в 1 Гр фотонного

випромінювання (H), позначається “Зв”, міжнародне позначення – “Sv”. Зіверт являє собою одиницю поглиненої дози, помножену на коефіцієнт, що враховує неоднакову радіоактивну небезпеку для організму різних видів іонізуючого випромінювання. $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$. Одиниця “Зіверт” використовується в радіології і радіобіології з 1979 року.

Зіверт Рольф – шведський вчений

Зіверт за секунду – сила еквівалентної дози випромінювання, позначається “Зв/с”, міжнародне позначення – “Sv/s”.

Зірки – величезні скупчення розплавленої плазми.

Змішане випромінювання – випромінювання, яке складається з фотонів та часток різних видів.

Знезараження – комплексні заходи зниження забруднення, зокрема і радіонуклідного. Знезараження включає механічну і фізико-хімічну дезактивацію, дегазацію, дезинфекцію, дезинсекцію, дератизацію, санітарну обробку.

Зовнішнє опромінення – джерело опромінення зовні організму, що впливає на певний організм через шкіру, системи органів травлення та дихання.

Зона аварії - територія, де рівні опромінення населення або персоналу, обумовлені радіаційною чи радіаційно-ядерною аварією, перевищують чи можуть перевищити встановлені НРБУ-97 межі дози опромінення.

Зона контрольована (у межах даного документа) - будь-яка підпорядкована адміністрації установи територія, на якій передбачений посилений дозиметричний контроль. Розміри контрольованої зони встановлюються адміністрацією установи за результатами радіаційного контролю з урахуванням усіх можливих варіантів обстановки, що зустрічається у практиці.

Зона спостереження (у межах даного документа) - територія за межами санітарно-захисної зони, на яку за нормальної експлуатації джерела іонізуючого випромінювання може поширюватися радіаційний вплив. Опромінення населення в ній обмежується встановленою квотою граничної дози, а в умовах комунальної аварії на даній території може знадобитися проведення захисних заходів з метою зниження дози опромінення населення до встановленого НРБУ-97 залишкового прийняттого сумарного рівня зовнішнього і внутрішнього опромінення.

Зона санітарно-захисна (у межах даного документа) - будь-яка територія навколо джерела іонізуючого випромінювання за межами місця чи зони роботи персоналу категорії А, де рівень опромінення людини в умовах нормальної експлуатації джерела іонізуючого випромінювання може перевищити квоту граничної дози для категорії В.

I

Ізотери (*meros* –доля) – 1) явище існування хімічних сполук однакового кількісного та якісного складу, але з різними фізичними та хімічними

властивостями; 2) елементи однакові за складом і молекулярною масою, але різні за будовою, структурою, просторовістю, заломлювати промені. Відкрив в 1823 ро Ю. Лібіх, а термін ввів у науку в 1830 році Й. Берцеліус.

Ізотопне випромінювання - випромінювання, яке складається з фотонів та частинок різних видів.

Ізотопні індикатори (або мічені атоми) – ізотопи, які відрізняються масою від атомів елемента, можуть використовуватись у якості індикатора (мітки) при вивченні різноманітних процесів його розподілу, переміщення і перетворення у складі різних речовин улюбих складних системах, у тому числі живих системах.

Ізотопи (*topos* – місце) – це атоми одного елемента, котрі мають різну масу, але однаковий електричний заряд атомних ядер, тобто різну кількість нейтронів при однаковій кількості протонів. Отже, ізотопи – це хімічні елементи з однаковими хімічними властивостями, але різною атомною масою. Вони в періодичній системі елементів знаходяться під одним номером, наприклад, ${}_{55}\text{Cs}^{131}$, ${}_{55}\text{Cs}^{134}$, ${}_{55}\text{Cs}^{135}$, ${}_{55}\text{Cs}^{137}$. Розрізняють ізотопи стійкі (стабільні) і нестійкі. Радіоактивний ізотоп – це нестійкий ізотоп, що розпадається. Терміни “ізотоп”, “радіоактивний ізотоп” використовуються тоді, коли говориться про атоми одного і того самого елемента. Відомо біля 250 стабільних і біля 50 природних радіоактивних ізотопів. Прикладом стійких ізотопів може бути Pb^{206} , Pb^{208} – це кінцеві продукти розпаду урану (U^{235} , U^{238}) і Th^{232} . вивчення ізотопів показало, що хімічні властивості елементів визначаються зарядом ядра, а не масою.

Ізотропія (рівномірність) - однаковість фізичних властивостей речовини, наприклад, механічних, оптичних, електричних, за всіма напрямками.

Імуна система – сукупність лімфоїдних органів і тканин, які визначають антигену рівновагу гомеостазу. Її центральні органи представлені червоним кістковим мозком і тимусом (вилочкова залоза), а периферична – селезінкою, лімфатичними вузлами гландами і скупченням лімфоїдних тканин у статевих органах, травному тракті та системах дихання і сечевиділення і виділення.

Інваріантність – незмінність, постійність при перетвореннях, при переході до нових умов (наприклад, інваріантність фізичних законів).

Індикаторний метод – метод вивчення поведінки, перетворень та руху речовин у фізичних, хімічних та біологічних системах за допомогою мікрокількостей радіоактивних ізотопів.

Інертні атоми – це атоми, у яких зовнішні електронні оболонки заповнені не схильні вступати в хімічні реакції, тому їх називають інертними (наприклад, інертні гази).

Інкorporація – включення речовини, яка потрапляє в організм і впливає на його фізичний, фізіологічний стан зі середини організму.

Інкorporоване опромінення – джерело опромінення з повітрям, водою, їжею потрапило в середину організму і опромінює його із середини. Деякі поглинуті радіонукліди в організмі розподіляються рівномірно (третій, вуглець,

залізо, полоній), деякі накопичуються в кістках (радій, фосфор, стронцій), деякі накопичуються в м'язах (калій, рубідій, цезій), йод накопичується в щитовидній залозі, а в печінці, нирках, селезінці накопичуються рутеній, полоній, ніобій.

Інерціальні системи підрахунку – системи, вільні від зовнішніх впливів і які рухаються рівномірно прямолінійно або знаходяться в стані спокою.

Інтерференція (від *інтер* + лат. *ferens* = несе, переносить) – 1) взаємне посилення або послаблення хвиль (звукових, світлових, електромагнітних) при їх накладанні одна на одну; 2) явище при зараженні організму різними вірусами, коли під впливом одних із них клітини організму виробляють інтерферон, що придушує розвиток інших вірусів; 3) взаємопроникнення мовних елементів як наслідок контактування мов.

Іонізація – це перетворення нейтральних атомів чи молекул на частинки, які несуть позитивний або негативний заряд.; це ендотермічний процес утворення іонів із нейтральних атомів. Атом, що втратив електрон, стає іоном з позитивним зарядом.

Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху.

Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху.

Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху.

Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Іонізуюче випромінювання – будь-яке випромінювання, яке здатне прямо або опосередковано іонізувати навколишнє середовище. Всі види іонізуючого випромінювання відзначаються високою енергією і викликають зміни в біологічній структурі живої клітини, що можуть призвести до її загибелі.

Іонізуюча здатність – це кількість пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на одиницю довжини шляху. Проникаюча здатність радіації визначається довжиною пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Іонізуюча радіація – випромінювання високих енергій, що викликає іонізацію атомів і молекул речовини.

Іонізуюче випромінювання – це будь-яке випромінювання, взаємодія якого із середовищем призводить до утворення електричних зарядів різних знаків, що викликає іонізацію середовища, у тому числі і в організмі людини, тварин, що часто призводить до руйнування клітин, зміни складу крові, опікам тощо; це різні форми енергії, яка виділяється при розчепленні атомів.

Іонізуюче випромінювання розділяється на два види: фотонне (електромагнітне, рентгенівське-, гамавипромінювання) та корпускулярне (альфа- та бета частинки – протони, нейтрони, мізони). Корпускулярне і фотонне випромінювання відрізняються умовами утворення та властивостями.

Іонні треки – збуджені або іонізовані стани молекул і атомів у об'ємі речовини, що оточує траєкторію руху зарядженої частинки, фотона рентгенівського чи γ -випромінювання в речовині.

Інкорпорована (внутрішня) радіація – опромінення від радіонуклідів, які з повітрям, водою, їною потрапили в середину організму. Внутрішня радіація становить 2/3 ефективної еквівалентної дози опромінення.

Інтерференція – це складання в просторі двох або декількох хвиль, за умови якого в різних його точках отримується підсилення або ослаблення амплітуди складеної хвилі. Інтерференція характерна для хвиль різної природи: хвиль на поверхності рідини; пружних (наприклад, звукових); електромагнітних тощо. Інтерферують лише когерентні хвилі, тобто хвилі, які мають постійну різницю фаз у часі.

К

Камера Вільсона – прилад, винайдений у 1911 році Вільсоном, для дослідження частинок, які пролітають крізь газ за стереофотографічними треками.

Карценоми – злоякісні переродження епітеліальних тканин.

Карцерогени – радіаційні або хімічні реагенти, під впливом яких виникає трансформація клітин.

Квазари – 1) космічні об'єкти надзвичайно малих кутових розмірів, мають значні червоні зміщення ліній у спектрі, що вказує на їх велику віддаленість від Сонячної системи. Квазари випромінюють у десятки разів більше енергії, ніж найбільш могутні галактики. Джерело енергії квазарів невідоме. 2) зіркоподібне джерело космічного випромінювання, що за силою світла в багато разів переважає Сонце. Квазари поділяються на радіоактивні й не радіоактивні.

Квазіпотенціальний метод – кваркова модель, що дозволяють систематизувати елементарні частинки.

Квант (фотон) (лат. *quantum* – скільки) – загальна назва певних порцій променевої енергії, момента кількості руху та інших величин, якими характеризують фізичні властивості мікросистем; неподільна порція якої-небудь величини в фізиці. В основі поняття лежить уява квантової механіки.

Введено в науку поняття «квант» у 1900 році німецьким фізиком М. Планком.

Квантова механіка (хвильова механіка) – теорія, що з'ясовує способи описування і закони руху мікрочастинок у заданих зовнішніх полях.

Кварки (анг. quark = дещо незвичайне містичне) – 1) гіпотетична частинка, з якої, можливо, складаються елементарні частки (андрони); 2) це

частинки, з яких складаються протони і нейтрони. Нині вважається, що кварки – межа до якої може ділитися матерія. Сполучаються кварки між собою з допомогою *глюонів* (від англ. glue – клей). Розміри кварків – менше 10^{-19} м. Термін «кварк» в науку ввів Мюррей Гелл-Манн.

Керма (K) - кінетична енергія в радах, передана зарядженими частинками, утвореними іонізуючим випромінюванням в одиниці маси опроміненого середовища, або відношення суми початкових кінетичних енергій (dE_k) всіх заряджених частинок, що утворюються побічно іонізуючим випромінюванням в елементарному об'ємі, до маси (dm) у цьому об'ємі ($K = dE_k/dm$)

Керма повітря – величина, що характеризує загальну первинну кінетичну енергію, що передається зарядженим частинкам повітря в наслідок опромінення нейтральними частинками. Керма повітря дорівнює кінетичній енергії, що передається до маси речовини в даному об'ємі повітря. Одиницею виміру керми повітря у системі СИ є греї, а позасистемною рад.

K-захоплення – тип радіоактивного перетворення ядра атома, що полягає в поглинанні ядром електрона з найближчої до ядра електронної орбіти – K-шару. При цьому протон в ядрі перетворюється на нейтрон.

Кілоелектронвольт (кеВ) - величина енергії, рівна тисячі еВ, а рівна мільйону еВ називається мегаелектронвольт (МеВ).

Кількісна радіобіологія – галузь науки, що розробляє математичні моделі для характеристики дозових залежностей радіобіологічних ефектів тощо.

Кисневий ефект – зміна біологічної дії радіації у залежності від наявності та кількості кисню, зумовлений взаємодією кисню з вільними радикалами, які виникають у результаті опромінення. При зниженні концентрації кисню в клітинах під час опромінення зменшується ефект променевого впливу. Кисневий ефект проявляється на різних рівнях організації біологічних систем.

Кларкові концентрації – вміст природних радіонуклідів, характерний для даної місцевості.

Класифікація доз опромінення – 1) *надвисокі* (порядку $10^{13} \dots 10^{11}$ сГр/хв); 2) *високі* (порядку $10^6 \dots 10^2$ сГр/хв); 3) *низькі* (порядку $10^2 \dots 10^{-1}$ сГр/хв); 4) *дуже низькі* (порядку до 10^{-1} сГр/хв).

Класифікація радіаційних уражень – ушкодження поділяють на три групи: соматичні, соматично-стохастичні (випадкові, ймовірні), генетичні. За часом прояву ураження поділяють на гострі (ранні) і хронічні (пізні). Ранні ураження бувають тільки стохастичні.

Клітина – елементарна одиниця будови і життєдіяльності всіх живих організмів. Клітини поділяють на безядерні (прокаріоти) і ядерні еукаріоти). Термін “клітина” ввів у науку англійський біолог Роберт Гук у 1663 році. Структура клітини включає такі облігативні органоїди: цитоплазма, ядро з ядерцем, ендоплазматичний ретикулум, апарат Гольджі, мітохондрії. В клітині

можуть бути і необов'язкові органоїди, наприклад, вакуолі, війки тощо. Наука, що вивчає клітину називається “цитологія”.

Клітинна радіобіологія – галузь науки, що вивчає вплив іонізуючого випромінювання на клітинні процеси (поділ, етапи клітинного циклу, диференціація, регуляція онтогенезу клітин, міжклітинні взаємодії, біогенез субклітинних структур, трансдукцію сигналів, генерацію клітинних потоків).

Клітинні популяції – більш або менш чисельні групи одноклітинних організмів. Систему клітин в межах тканини можна теж розглядати як клітинну популяцію.

Ковалентний радіус – відстань, що характеризує міжатомні відстані в молекулах

Когерентні хвилі-промені - тобто хвилі, які мають постійну різницю фаз у часі.

Когерентне розсіювання – розсіювання, за якого фотон не передає своєї кінетичної енергії електрону, але змінює напрям руху.

Коефіцієнт ефективності розмноження (K_{ef}) – відношення числа нейтронів даного покоління до числа нейтронів попереднього покоління. При значенні цього коефіцієнта 1 в реакторі відбувається ланцюгова реакція розподілу, що самопідтримується. При значенні K_{ef} менше 1 процес розподілу ядер урану буде згасаючим, а при значенні K_{ef} більше 1 інтенсивність розподілу будуть наростаючі.

Коефіцієнт поглинання (I) – ослаблення потоку заряджених частинок під час проходження крізь шар речовини. Та частина енергії, яка відповідає ослабленню потоку поглинається данною речовиною. Механізми взаємодії заряджених частинок із поглинальним середовищем наступні: пружне розсіяння, непружне розсіяння, втрати на утворення гальмівного випромінювання, ядерні реакції.

Коефіцієнт якості (коефіцієнт якості шкоди) – коефіцієнт, який показує в скільки разів радіаційна небезпека даного виду випромінювання вища, ніж рентгенівського при однаковій поглинутій дозі в тканинах організму. Чим більший цей коефіцієнт, тим небезпечніша доза випромінювання.

Коллайдер адроний (БАК) (англ. *collide* – зіткнення) – 1) прискорювач пучків протонів і нейтронів, які рухаються на зустріч один одному і стикаються. У результаті їх зіткнення спостерігається вибух і ці частинки утворюють ще більш менші частинки – “зоопарк” – (кварки, глюони, бізони). При цьому може зароджуватись антиматерія і “чорні дири” – згустки матерії в малому об'ємі з дуже великою масою. - 2) надскладний прилад для спостереження за народженням і взаємними перетвореннями елементарних частинок

Перший коллайдер кільцевої конструкції збудований на границі Франції і Швейцарії на глибині від 50 до 175 км довжиною 27 км. Над його створенням працювали учені з 80 країн, включаючи Росію. Вперше запущений у вересні 2008 року, але невдало (планується його запустити в робочому режимі осінню

2009 року. Він містить в собі 120 могутніх електромагнітів. Яаяяяяу бувшому СРСР в підмосков'ї у 1983 році почали будувати 20-ти кілометровий колайдер (УНК – ускорительно-накопительный комплекс), але в 90-ті роки будівництво заморозили.

Колективна (групва) ефективна еквівалентна доза – міра впливу радіоактивного опромінення на групу людей. Колективна доза дорівнює сумі індивідуальних ефективних доз групи людей і вимірюється в СИ в людино-Зівертах, а позасистемно – людинл/берах. Колективна доза – сума індивідуальних ефективних доз у даній групі людей за даний проміжок часу. Вона підраховується для населення, наприклад, села, адміністративно-територіальної одиниці, країни тощо. Її одержують шляхом множення середньої ефективної дози однієї людини на загальну кількість людей, які знаходяться під опроміненням.

Коммитметна доза – очікувана доза опромінення, використовується в радіаційному захисті і гігієні.

Компенсаційний ефект радіації – променеве ураження не виявляється за умови, коли кількість уражених клітин не перевищує певного обсягу.

Комптонівський ефект – це явище, коли фотони при зіткненні з речовиною виявляють корпускулярні властивості.

Всі тіла, що мають температуру відмінну від 0 випромінюють електромагнітні хвилі.

- Теплове випромінювання – це $\frac{3}{4}$ електромагнітне випромінювання.
 - Чим інтенсивніше електромагнітне випромінювання тим вища температура речовини.
 - При розсіюванні електронів змінюється довжина електромагнітних хвиль.
- Встановлений американським фізиком у 1923 році, за що у 1927 році він одержав Нобелівську премію.

Комптонівське розсіювання – процес, при якому відбувається пружне (жорстке) зіткнення між падаючим фотоном випромінювання і вибитим електроном атома з передачею останьому лише частини енергії фотона. Енергію, що залишилася, несе другий фотон, який утворюється в результаті цієї взаємодії. Напрямок руху вторинного фотона відрізняється від первинного, тому цей процес називається розсіювання фотона на електроні.

Комуляційний ефект – здатність малих доз радіації накопичуватись в організмі.

Контроль дозиметричний - вимір потужностей доз випромінення в місцях життєдіяльності людини, визначення еквівалентних та ефективних, очікуваних і нагромаджуваних, індивідуальних і колективних доз опромінення від різних ДІВ, які співвідносять з установленими нормативними і контрольними рівнями.

Контроль радіометричний - прямий чи прогнозований вимір надходження радіонуклідів до організму людини, вмісту радіонуклідів у тілі, окремих тканинах і органах людини, на поверхні шкіри, одягу, взуття, а також в

об'єктах довкілля (у повітрі, воді, харчових продуктах, будівельних матеріалах, на поверхнях і у середовищах інших об'єктів). Результати контролю використовуються для зіставлення з регламентованими значеннями активності або для розрахунку доз.

Концентрація гранично допустима – максимальна кількість шкідливої речовини (агента) в середовищі, яка помітно не впливає негативно на живі організми, зокрема на людину.

Космічне іонізуюче випромінювання – іонізуюче випромінювання, що безперервно падає на поверхність землі із світового простору. Його поділяють на первинне і вторинне іонізуюче випромінювання. За рівнем енергії космічне іонізуюче випромінювання поділяють на м'яке, жорстке сильно іонізуюче і нейтроне. М'який компонент випромінювання поглинається шарами свинцю 8-10 см, заліза 15-20 см; жорсткий компонент проникає через свинець, товщиною більше метра, його можна виявити під водою і під землею на глибині декількох кілометрів. Сильно іонізуюча компонента володіє великою щільністю іонізації.

Космос (грец. “всесвіт”, “світовий порядок”, “лад”) – весь Всесвіт в єдиній сукупності; це цілісна всеохоплююча система, що змодельована і функціонує за законами гармонії, поєднуючи в собі в єдину форму всі форми сил і енергії (гравітаційні, електромагнітні, електричні, магнітні, атомні, ядерні тощо).

Корпускулярне випромінювання – потік елементарних частинок, із масою спокою, відмінною від нуля, що утворюються при радіоактивному розпаді, ядерних перетвореннях, або генеруються на прискорювачах. Це альфа-, бета-частки, нейтрони, протони та інші.

Крива Брегга – зображення процесу проникнення частинок углиб речовини нарастає кількість взаємодій випромінювання з атомами й молекулами, зростання число іонізацій, досягнення максимуму (пік Брегга), а далі досить швидко зменшення до нуля.

Критична група (у межах даного документа) - група осіб з населення, однорідна за одним чи декількома ознаками (статтю, віком, соціальними чи професійними умовами, місцем проживання, раціоном харчування), що піддається найбільшому радіаційному впливу за даним шляхом опромінення від даного джерела випромінювання.

Критична маса – та мінімальна маса радіоактивної речовини, в якій можливе протікання самопідтримуючої ланцюгової реакції. Критична маса речовини, в якій спостерігається розпад, певною мірою залежить від геометричного об'єму речовини, щільності і кількості побічних домішок, що можуть поглинати нейтрони. Критична маса в формі кулі є найменшою, оскільки куля має найменше відношення площі поверхні до об'єму.

Кореляція (лат. correlatio) - взаємозв'язок, співвідношення предметів, понять або явищ, зв'язок між рядами величин. Взаємозв'язок може бути (за теорією відносності) механічним або детерміністичним (причинна

зумовленість), наприклад, в термодинаміці – механічна і статистична, в електромагнетизмі – пересікання або взаємодія полів, в теорії відносності – викривлення простору.

Критичні клітини, тканини, органи – органи, які в наслідок опромінення найбільш чутливі і спричинюють найбільшу шкоду для здоров'я і життя організму; - в яких вибірково накопичується радіонуклід.

Кулон на кілограм – експозиційна доза випромінювання (X), позначається “Кл/кг”, міжнародне позначення – “КІ/kg”.

Кумулятивний ефект – здатність малих доз іонізуючого випромінювання підсумовуватися і накопичуватися в організмі.

Кюрі (Ки) – одиниця радіоактивності, що визначається як кількість будь-яких радіоактивних ядер, де проходить 37 млрд. розпадів за секунду; дорівнює $3,7 \cdot 10^{10}$ розпадів за секунду $1 \text{ Бк} = 1 \text{ розпад/с} = 2,703 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$. $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ розп./с} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

Л

ЛАЗЕР (анг. абревіатура *laser*) – 1) прискорення світла шляхом вимушеного (індукованого) випромінювання; 2) оптичний квантовий генератор – пристрій, що трансформує енергію нагнітання (світлову, електричну, теплову. Хімічну тощо) в енергію когерентного (зв'язаного), монохроматичного, поляризованого і вузько спрямованого потоку випромінювання.

Лантаноїди – сімейство з 14 хімічних елементів з порядковим номером від 58 до 71 VI періоди системи елементів Менделєєва.

Лейкемія – білокрив'я або *лейкоз* – опухолеві системні захворювання кровоутворюючих тканин з ураженням червоного кісткового мозку, лімфатичних вузлів і селезінки. Переважають незрілі (“молоді”) форми лейкоцитів в кістковому мозку і в крові. Протікає у формах гострого, хронічного лейкозу. Лейкоз (лейкемия, алейкемия,^[1] рак крові, білокрив'я) — клональне злоякісне захворювання кровотворної системи. До лейкозів відносять обширну групу таких захворювань, різних за своєю етіологією. При лейкозах злоякісний клон утворюється з незрілих гемопоетичних клітин кісткового мозку.

Лейкопенія (*leukos* – білий + *penia* – бідність) – зменшення кількості лейкоцитів нижче 4 тисяч в 1 мм^3 крові в наслідок променевого ураження.

Лейкоплакія – плява білих пляшок, наприклад, на слизовій оболонці рота як передвісників раку.

Лектінутримуюча сировинь – сировина, що використовується для виведення з організму тварин радіоактивного цезію-137 (наприклад, борошно з кошиків соняшнику).

Лептони (грец.– *легкий*) – 1) фундаментальна частинка з напівбілим спіном, не приймає участі у сильній взаємодії, наприклад, електрон; 2) лептони – сімейство елементарних частинок, що характеризуються слабою взаємодією і включає електрони, мюони, таулептони і всі різновидності нейтрино.

Летальна доза опромінення для людини і мавпи 600 рад, морської свинки 250 рад, собаки 335 рад, миші 550-650 рад, пацюка 1800 рад, гадюки 8000-20000 рад, дріжджі 30000 рад, амеби 100000 рад, інфузорії 300000 рад. Радіочутливість вищих рослин теж різна: насіння лілії втрачає схожість при дозі опромінення 2000 рад, а насіння капусти повністю зберігає схожість після опромінення 64000 рад.

Лімфома – онкологічне захворювання лімфатичної тканини. Перші ознаки ураження: збільшення лімфатичних вузлів (шийних, пахових, підм'язевих). Симптоми: шкіряне свербіння, збільшення лімфовузлів, підвищення температури тіла до 38°C, потіння вночі, швидка втрата маси тіла. Хвороба протікає в чотири стадії: 1. залучається до патологічного процесу одна область лімфатичних вузлів; 2. залучається до патологічного процесу дві і більше області з однієї сторони діафрагми; 3. ураження охоплює лімфовузли з обох сторін діафрагми; 4. уражаються лімфовузли на серці, печінці, нирках, кишках і уражається кістковий мозок.

Лімфоцити – формені елементи крові (білі кров'яні тільця), тривалість їхнього життя становить 10-12 годин.

Лінійна передача (втрата) енергії (ЛПЕ, L) – енергія, яку втрачає заряджена частка, або фотон електромагнітного випромінювання на одиницю довжини їх пробігу в речовині. Вона, перш за все, залежить від енергії і заряду. Ця залежність різко зростає за умови зниження швидкості частинки, тому в кінці пробігу віддача енергії будь-якої зарядженої частинки є максимальною. У системі СІ одиниця ЛПЕ є джоуль на метр (Дж/М).

Лінійна щільність радіації – кількість пар іонів, що утворюються за одиницю пробігу (1мкм) іонізуючої частки.

Лінійні втрати енергії (ЛВЕ) – втрати енергії іонізуючої частки на одиницю довжини (1 мкм); вимірюється в КеВ мкм. На утворення в повітрі однієї пари іонів іонізуюча частка витрачає приблизно 34 КеВ.

Люмінесценція – свічення речовин, непов'язане з тепловим випромінюванням (холодне свічення). Виникає внаслідок опромінення речовини іонізуючими променями, світлом, проходження крізь неї електричного струму.

М

МАГАТЕ – міжурядова організація з питань мирного використання ядерної енергії.

Магнітно-резонансний томораф - діагностичний радіоприлад, що використовується в медичній світовій практиці з 1980 року, а в Україні з 199 року.

Макрокосм – уява, поняття про Всесвіт у всій сукупності його складових частин.

Максимум екологічний – верхня межа області поширення дії екологічного фактору, за якої окремий організм або вид загалом іще може жити нормально.

Мала доза радіації – є декілька визначень, наприклад: - доза опромінення і поглинання до 0,5 Гр; - доза радіації, за дії якої не спостерігається ураження; - це доза, що на два-три порядки скнша LD_{100} ; - доза, що не перевищує природнього фону тощо.

Мегаелектронвольт (MeV) –енергія. рівна мільйону eV.

Медична радіологія – галузь науки, що тісно пов'язана з радіобіологією людини і розробляє заходи мінімізації наслідків опромінення людини, зокрема, при рентгенодіагностиці, радіотерапії тощо.

Мезони (грец. *середній*) – нестабільні елементарні частинки, маса яких більша за масу електрона, але менша від маси протона. Є мезони електрично нейтральні і заряджені. Розрізняють пі-мезони (*піони*) і К-мезони (*каони*). Завдяки мезонів здійснюється зв'язок нуклонів в атомах ядрах. Час існування мезонів значно менший за мільйону частку секунди. Мезон – це сильно взаємодіючий бозон.

Мезохімія – галузь хімії, що вивчає поведження мезонів (π і μ) після їх уповільнення, у стадію утворення і загибелі мезонів.

Метали важкі – метали з великою атомною масою (Pb, Zn, Hg, Cu, Ni і інші), які при антропогенному розсіюванні забруднюють навколишнє середовище і мають токсичний вплив на живі організми або цілі екосистеми. У мікро дозах (у вигляді мікроелементів) метали важкі є біологічно активні елементи, у великих – отрути.

Метастаз (грец. *переміщення*) – 1. перенесення течією крові або лімфи органічних часточок (мікробів, пухлинних клітин) або солей, які при осіданні можуть утворювати хворобливі вогнища на новому місці; 2. нове вогнище патологічного процесу, що виникло внаслідок переміщення збудника хвороби. Найчастіше метастази спостерігаються при злоякісних пухлинах.

Метод Монте-Карло – чисельний метод, що ґрунтується на відтворенні великого числа реалізацій випадкових процесів.

Метод “чорного ящика” – методологія створення системи теоретичних понять, зокрема радіобіології, за умови відсутності їх експериментального обґрунтування.

Мікродозиметрія – галузь фізики, що займається дослідженням процесів передачі та розподілу енергії іонізуючого випромінювання в речовині в межах мікрооб'ємів (наприклад, клітині).

Мікрокосм – поняття і уява про модель будов і функції атома, людини, що значною мірою відповідає моделі будови і функції макрокосму.

Міра радіочутливості – доза, що обумовлює загибель 50 та більше відсотків опромінених об'єктів.

МКРЗ – міжнародна комісія з радіаційного захисту.

Модель Бора – перша фізична модель будови атома, що відображає оптичні спектри будови атома, запропоновани Нільсом Бором у 1922 році. Нині вона має лише історичне значення, але, завдяки своїй простоті й образності, що

базується на планетарній схемі, запропоновану Резерфордом, широко використовується.

Модифікатори – це фактори, що обумовлюють модифікацію. Модифікатори поділяють на фізичні (температура, освітлення, тиск, вологість, радіація тощо), хімічні (рН, осмотичний тиск, розчинність, склад тощо), біологічні (активність проліферації, гормони, ферменти, гормезис, імунна система тощо). Модифікатори поділяють на профілактичні, пострадіаційні, терапевтичні.

Модифікація (лат. - зміна видозміна) **біологічна** – відозміна, перетворення, поява нових зворотніх або незворотніх ознак, властивостей; якісно відмінні стани під впливом радіації; зміна ознак чи властивостей організму, які не передаються за спадковістю; неспадкові зміни біологічної системи, обумовлені зміною умов довкілля та зовнішніми факторами, наприклад, іонізуюче опромінення. Визначають рівні модифікації субклітинний, клітинний, тканинний, органний, організменний. Модифікації можуть мати зворотний характер (наприклад, загар шкіри). Якщо модифікації корисні, то їх називають “адаптація”, а якщо шкідливі, то вони можуть ліквідуватися в наслідок природного відбору, добору. Модифікація пов’язана з пластичністю біологічної системи.

Моноенергетичне випромінювання – іонізуюче випромінювання, яке складається з одного виду кінетичної енергії, із фотонів однакової енергії або часток одного виду з різними рівнями енергії. Зміна ознаки чи властивості організму, яка не передається нащадкам.

Мультигенеративний канцерогенез – у опромінених батьків потомство, яке не опромінювалось, має специфічні і неспецифічні трансформації, характерні для канцерогенезу.

Мюони [від грец. літери μ , (мю-мезони)] – нестабільні елементарні частинки з негативним зарядом і спіном, що виявляються в космічних променях і утворюються внаслідок розпаду більш масивних мезонів. Штучно вони утворюються при бомбардуванні швидкими протонами мішеней, що приводить до утворення піонів, під час розпаду яких і виникають мюони. Мюони утворюються у вигляді струй на значній відстані від місця зіткнення протон-антипротонних пучків.

М’яке космічне випромінювання – складова космічного іонізуючого випромінювання, що поглинається шарами свинцю 8-10 см, заліза – 15-20 см.

Н

Накопичення і розподіл радіонуклідів в організмі – радіонукліди, що надходять в організм з пилом, повітрям, водою, їжею накопичуються і розподіляються в органах по різному. Деякі ізотопи розподіляються рівномірно (трійтій, вуглець, залізо, полоній); деякі накопичуються в кістках (стронцій, фосфор, радій); інші в м’язах (цезій, калій, рубідій); інші в залозах (йод в щитовидній залозі; рутеній, полоній, ніобій – в печінці, нирках, селезінці тощо).

Напіврозпад – час, протягом якого розпадається половина радіоактивного ізотопу. Є радіонукліди з напіврозпадом від секунд до мільйонів років. Їх поділяють на коротко-, середньо і довгоживучі.

Народження пар – процес взаємодії γ -фотонів із речовиною, за якого з квантів поля виникає пара *електрон-позитрон*.

Нейтрино (італ. *Neutrino*, зменшене від нейтрона) – стабільно елементарна незаряджена частинка (ν) зі спіном $\frac{1}{2}$, маса дорівнює нулю. Приймає участь слабких і взаємодіях гравітаційних. Назву «нейтрино» цій частинці дав Енріко Фермі. Нейтрино характеризується надвисокою проникливістю, воно здатне проникати через свинцевий екран завтовшки в п'ятдесят світлових років без помітної шкоди для себе.

Нейтрон (латн. *neutron* – ні той, ні інший) – електрично нейтральна елементарна частинка (n) атома всіх елементів за винятком водню з масою спокою 1,00898 і спином $\frac{1}{2}$. Відноситься до баріонів. У вільному стані нейтрони нестабільні і мають тривалість життя біля 16 хвилин, розпадається на протон, електрон і нейтрино. Вони володіють високою проникливою здатністю в шари речовини. Відкрив нейтрон англійський фізик Дж. Чедвік. Якщо нейтрон випромінить електрон і антинейтрино, він перетвориться на протон.

Нейтронграфія – вивчення структури ядра атома з допомогою нейтронів; вивчення конденсованих середовищ нейтронними методами.

Некогерентне розсіювання – так називається ефект Комптона.

Немоноенергетичне випромінювання – випромінювання, що складається із фотонів різних енергій або частинок одного виду різних кінетичних енергій.

Неспрямоване випромінювання – розсіяне (без визначеного напрямку) іонізуюче випромінювання.

НІЛВ – низькоінтенсивне лазерне випромінювання.

Норми радіаційного ураження – розрізняють такі: разові, сумарні, гранично допустимі, напівлегальні, критичні, летальні.

Нукліди (грец. *ядро*) – вид атомів, що характеризуються певним масовим числом, атомним номером і енергетичним станом і має тривалість життя, достатню для дослідження; це загальна назва атомів, які мають в ядрі однакову кількість протонів і різну кількість нейтронів, тому вони мають однаковий заряд і займають одну клітину в системі елементів Д.І. Менделєєва. Нукліди розрізняють стабільні і радіоактивні. Радіонукліди поділяють на короткоживучі, середньживучі і довго живучі. Тривалість життя радіонуклідів достатня для їх дослідження. Нукліди одного елемента називають ізотопами. Відомо понад 1400 нуклідів.

Нуклони – це спільна назва протонів і нейтронів. Тривалість життя протона понад $2,9 \times 10^{29}$ років, а нейтрона – біля 886 секунд.

Огненсь – місто в Російській федерації, де була збудована перша в світі атомна електростанція.

Оже-електрони – це ті електрони, які вилетіли з верхніх орбіт за межі атома. Їх іонізуюча здатність реалізується в безпосередній близькості до місця вильоту.

Одиниця радіоактивності - в СІ є беккерель (Бк), що дорівнює швидкості розпадів, коли за 1 секунду розпадається одне ядро радіоактивного ізотопу, а позасистемна одиниця – кюрі (Ки), що відповідає активності родону, який перебуває у стані радіоактивної рівноваги з $1\text{г }^{226}\text{Ra}$.

Олігофренія (грец. *phren* – розум) – спадкова або набут у дитячому віці недорозвиненність. Розрізняють три форми олігофренії: дебільність (легка форма олігофренії, що характеризується слабким абстрактним мисленням, нездатністю керувати своїми захопленнями, але можливі деякі соціальна пристосування), імбеціальність (середня форма олігофренії, що характеризується слабким словниковим запасом, нездатністю навчитися рахувати і читати, але можна привити деякі дуже прості навички до праці), ідіотія (тяжка форма олігофренії, що характеризується відсутністю мислення і мови, бажання і емоції примитивні).

Очікувана еквівалентна доза – результат сумачії еквівалентних доз опромінення, які людина одержує за певний період життя. Якщо не вказано інтервал часу, за який обчислюється інтеграл, то мають на увазі 50 років для дорослих і 70 років для дітей. Одиниця цієї дози є зіверт. Це величина, що характеризує дози, які отримує або може отримати людина протягом життя.

Очікувана ефективна доза – результат інтегрування потужності ефективною дози по часу з тими самими часовими інтервалами, що й у випадку очікуваної еквівалентної дози. Одиниця цієї дози є зіверт.

П

Парадокс радіобіологічний – це невідповідність між малими кількостями поглинутої енергії іонізуючого випромінювання і крайнім рівнем реакції біологічного об'єкта, аж до летального. Так, для людини летальна поглинута доза одноразового опромінення всього тіла гама-випромінюванням дорівнює 6 Гр (600 рад). Вся ця доза енергії, перетворена в тепло, може нагріти тіло лише на $0,0014^\circ\text{C}$. Радіаційний парадокс обумовлюється тим, що посередня (побічна) дія радіації на організм значно більша, ніж її пряма дія. Під посередньою (побічною) дією розуміють зміни молекул, викликані іонізацією речовини і наступними фізичними і хімічними реакціями. При цьому іонізуюча енергія перетворюється в хімічну, а остання, руйнуючи крупні органічні молекули (наприклад, ДНК), створює біологічний ефект (у тому числі, токсичний некроз клітини з наступним навантаженням на внутрішні органи організму тварин).

Партони (лат. *partis* = частина) - гіпотетичні частинки, елементи структурі Андронів.

Первинна субстанція – першопочаткова, найдрібніша, на межі маси і відсутності маси, далі неподільна матерія, що складає основу світу, а за умови певних процесів перетворюється в різноманітні види і форми матерії.

Період напіврозпаду ($T_{1/2}$) – час, протягом якого число радіоактивних атомів ізотопу зменшується вдвічі, тобто, час протягом якого радіоактивність зменшується у два рази.

Паливна касета – конструкція із таблеток урана і корпусу, що збирає (утримує) їх разом. Товщина цього корпусу 10-20 см і довжина – декілька метрів.

Період напіврозпаду – час, протягом якого розпадається в середньому половина всіх атомів контрольного радіонукліда. Для різних радіонуклідів радіоактивний розпад різниться за типом і складністю, характеристиками, що супроводжують випромінювання, вторинними явищами, пов'язаними з перебудовою електронної структури атома. Період напіврозпаду різних радіонуклідів різний за тривалістю (від секунд до мільйонів років), тому радіонукліди поділяють на *короткоживучі, середньоживучі і довго живучі*.

П'єзоелектрика – поява, під дією прикладеної зовнішньої сили, на поверхні деяких кристалів електричних зарядів. Активність піврозпаду – число радіоактивних перетворень за одиницю часу, вимірюється в міжнародній системі в бекерелях (Бк), а позасистемна одиниця – кюрі (Ки).

П'єзоелектричні ефекти – ефекти виникнення поляризації діелектрика під дією механічних напружень – це прямий п'єзоелектричний ефект, а зворотній – виникнення механічних деформацій під дією електричного поля. П'єзоелектричні ефекти вивчав П'єр Кюрі.

Піони (або Пі-мізони) – сили в ядрі між протонами і нейтронами, що забезпечують їх зв'язок. Це особливі частки, якими постійно обмінюються між нуклонами, завдяки чому забезпечується енергія зв'язку в ядрі, які передбачив у 1935 році Хідекі Юнакава, опираючись на теорію Фермі.

Питома іонізації – число пар іонів, що утворюються частинкою в одиниці об'єму, маси середовища або на 1 см сліду в речовині, яка поглинає іонізуюче випромінювання. Різноманітні види випромінювання мають різну іонізуючу спроможність. Проникаюча спроможність визначається питомою іонізацією.

Питома радіоактивності – радіоактивність певної кількості речовини. Може бути розрахована відносно маси речовини в Бк/кг чи щодо її об'єму в Бк/л. В Україні з введенням у дію ДР-97, встановлені такі допустимі рівні питомої активності цезію-137 у продуктах харчування: у молоці – 100 Бк/л, у м'ясі – 200 Бк/кг, у картоплі – 60 Бк/кг, в овочах – 40 Бк/кг і т.д. Дотримання ДР-97 забезпечує неперевищення індивідуальної ефективності дози внутрішнього опромінення людини в 1 мЗв на рік.

Планети (грец. – *блукаючий, мандруючий*) – найбільш масивні тіла Сонячної системи, які рухаються по еліпсоїдних орбітах навкруги Сонця. Планети земної групи близькі за розмірами – Меркурій, Венера, Земля, Марс).

Планети-гіганти – Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун. Планети – це якби уламки зірок, які охололи.

Поверхнево-активні речовини (ПАР) – хімічні сполуки, що концентруються на поверхні розподілу фаз і знижують поверхневу напругу. ПАР класифікують на дві групи: 1. Іоногенні (катіонні і аніонні ПАР). 2. Неіоногенні (алкілполіглюкозиди і алкіллектоксилати). Майже всі ПАР негативно впливають на довкілля.

Поглинута доза – енергія іонізуючого випромінювання, що поглинається одиницею маси опроміненої речовини. Вона вимірюється в греях (Гр); 1 Гр = 1 Дж/кг. Позасистемна одиниця Рад (1 Рад = 0,01 Гр = 0,01 Дж/кг).

Позитрон (лат. *positivus* – позитивний + трон – скорочене вираження “електрон”, позначається “ e^+ ”) – античастина електрона. Позитрони стабільні, але в речовині через аннігіляцію з електронами існують дуже короткий час. Позитрони утворюються в процесах народження пар e^+e^- гамма-квантами, при розпаді мюзонів тощо.

Позитроній – так називається зв’язана система з електрона і позитрона.

Поле – особлива форма матерії, що зв’язує частинки речовини в єдині системи і передається з кінцевою швидкістю дії одних частинок на інші.

Поле іонізуючого випромінювання – це простір, де діє радіація (повітря, вода, тканини, організм тощо).

Полум’я – одна із форм руху матерії, її стихій і значною мірою може впливати на процеси еволюції матерії.

Поріг дози – безпечні дози, які не володіють дією ураження організму любого віку і не впливає на потомство.

Прискорювач – пристрої для одержання заряджених частинок (електронів, протонів, атомних ядер, іонів із підвищеними енергіями), де використовуються електричні і магнітні поля, що впливають на швидкість частинок. Розрізняють прискорювачі *лінійні* (в яких траєкторії частинок близька до прямої лінії) та *циклічні* (в яких траєкторії частинок близькі до кола або спіралі).

Проліферація (лат. *proles* - потомство + *fero* – гнсу) – розрощення тканини організму шляхом новоутворення і розмноження клітин.

Пролонговане опромінення (D_{prol}) – це такий спосіб радіаційного впливу, коли об’єкт отримує дозу за час, що значно перевищує тривалість гострого опромінення і під час опромінення об’єкт може істотно змінюватися. Пролонговане опромінення може бути безперервним і фракційним.

Променева хвороба – захворювання людини і тварин, що виникає в наслідок дії різних видів іонізуючої радіації і характеризується симптомокомплексом. Що залежить від виду опромінення, його дози, розподілення дози в організмі, локалізації джерела опромінення. *Променева хвороба* – це загальне захворювання, що виникає після одноразового чи багаторазового опромінення. Розрізняють променеві хвороби за рівнем ураження легкі (поглинута доза 100-200 Рад), середні (поглинута доза 200-400

Рад),, тяжкі (поглинута доза 400-600 Рад), і надтяжкі (поглинута доза понад 600 Рад). Протікає променева хвороба в чотири етапи: первинних реакцій, латентний, розпалу хвороби і репарації. За умови багаторазового опромінення протягом тривалого часу може розвиватися хронічна форма променевої хвороби. При хронічній формі променевої хвороби уражаються всі органи і системи органів організму.

Проникаюча здатність - довжина пробігу частинки в речовині до її повного зникнення.

Проникаюча радіація – проникнення радіації до організму і її уражаюча дія, що виникає при опроміненні. Альфа-частинки за своїми властивостями володіють малою проникаючою здатністю і не представляють небезпеки доти, поки радіоактивні речовини не потраплять усередину організму через рани, продукти харчування, з повітрям і водою; тоді вони стають надзвичайно небезпечними. Бета-частинки можуть проникати у тканини організму на глибину один-два сантиметри. Великою проникаючою здатністю володіють гама-випромінювання, що поширюються зі швидкістю світла. Їх може затримати лише дуже товста свинцева чи бетонна стіна.

Проникаюча спроможність (здатність) опромінення – розмір пробігу, тобто шляху, пройденого іонізуючою частинкою в речовині до моменту її повного зникнення.

Протектор (лат. *zschueser* - захисник) – речовина, введена в живу систему ще до опромінення, присутня у тканинах, клітинах, організмі в момент опромінення і суттєво послаблює враження від опромінення.

Протекція (лат. *protectio*) – прикриття, захист.

Протон (p) [грец. *protos* – перший] – стабільна елементарна частка з *спином* (обертання) $\frac{1}{2}$ і масою в 1836 електронних мас, відноситься до баріонів. Це ядро легкого ізотопу атома водню (*протія*). Разом з нейтронами протон утворює всі атомні ядра і визначає фізичні та хімічні властивості елементів.

Повна колективна ефективна еквівалентна доза – колективна ефективна еквівалентна доза, яку одержать покоління людей від якого-небудь джерела радіації за весь час його подальшого існування.

Поглинута доза – енергія іонізуючого випромінювання, що поглинута тілом (тканинами організму) у перерахунку на одиницю маси. Це відношення енергії опромінення, поглинутої у даному об'ємі. До маси речовини у цьому об'ємі. Вимірюється в системі СІ в *греях* НП кг (Гр). 1 Гр = речовині масою 1 кг передається енергія випромінювання 1 Дж (1 Гр/кг = 1 Дж/кг). Позасистемною одиницею поглинутої дози випромінювання є *рад/кг*.

Позитрон (антиелектрон) – елементарна частинка з позитивним зарядом і масою, що дорівнює електронів. Позитрон відкритий у 1932 році американським фізиком карлом-девідом Андерсеном.

Порогова еритемна доза (ПЕД) опромінення – доза, що є достатньою для виникнення почервоніння шкіри. Введена Л. Тейлором у двадцяті роки ХХ століття. У різних дослідників вона відрізнялась на 200-300%.

Потенціал іонізації – це енергія, яка має бути витрачена для відриву електрона від атома чи молекули.

Потенційно летальні ушкодження – це такі, що можуть обумовити загибель клітини, але, за певних умов, клітини можуть бути і відновлені.

Потужність дози – доза випромінювання, віднесена до одиниці часу ($P = \frac{D}{t}$)

Принцип виключення Паулі – певний набір орбіта лей, які заповнюються електронами. Ці орбіталі утворюють певну конфігурацію. На кожній орбіта лі знаходиться два електрони. Орбіталі групуються в оболонки, кожна з яких може мати лише певне фіксоване число орбіта лей (наприклад, 1, 4, 10 тощо). Орбіта лі поділяють на внутрішні і зовнішні. В основному стані атома внутрішні оболонки повністю заповнені електронами.

Променева хвороба - захворювання, що виникає в результаті одержання підвищеної дози **радіації**, включаючи опромінення рентгенівськими променями, гамма-променями, нейтронами й іншими видами ядерного випромінювання у вигляді опадів чи вибуху атомної бомби. Подібне випромінювання іонізує атоми тіла, виникає слабкість, нудота й інші симптоми. Клітини тіла можуть постраждати навіть при невеликих дозах, що приводить до **лейкемії**. Може викликати порушення в **генах**, що, у свою чергу, веде до народження хворих дітей чи дітей з генними **мутаціями**. Розрізняють гостру і хронічну форми променевої хвороби. До заходів невідкладної медичної допомоги відносять такі: механічне усунення радіоактивних речовин із організму людини шляхом промивання шлунку теплою водою, вживання проносних і сечогінних засобів, промивання рота і очей, застосування відхаркувальних препаратів при попаданні радіоактивних речовин в дихальні шляхи.

Проникаюча здатність (розмір пробігу) – шлях, пройдений часткою в речовині до її повного зникнення

Протон – стабільна корпускулярна стійка частинка з позитивним зарядом; ядро атома водню. Протон був виявлений Резерфордом у 1919 році. Маса протона в 2000 разів перевершує масу електрона.

Проута гіпотеза – полягає в тому, що атоми всіх елементів будуються з атомів водню. Звідси і назва «*протон*», тобто від «*протию*» = перший, найпростіший.

Пружне співударяння – це фотоелектричний процес передавання енергії.

Р

Рад – одиниця поглинутої дози; відповідає поглинутій енергії 100 ерг на 1 кг речовини ($1 \text{ Рад} = 100 \text{ ерг/г} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Дж/кг} = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Гр} = 1 \text{ сГр}$; $\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг} =$

10^4 ерг/г = 100 рад); доза в 1 рад означає, що у кожному грамі опроміненої речовини поглинено до 100 ерг енергії.

Радіаційна активність зразка – число розпадів за секунду в даному радіоактивному зразку, одиниця виміру – беккерель (Бк).

Радіаційна біохімія – наука, що вивчає зміни в обміні речовин, які спричиняються появою в метаболічних системах клітин продуктів радіаційно-хімічних перетворень.

Радіаційна біофізика – наука, що вивчає первинні процеси передавання енергії іонізуючого випромінювання атомам і молекулам речовини, що супроводжується збудження станів у живій клітині, з чого починається будь-яке радіобіологічне явище.

Радіаційна ботаніка (*радіобіологія рослин*) – наука, що вивчає вплив радіації на все велике розмаїття рослин.

Радіаційна вірусологія – галузь науки, що вивчає вплив радіації на структуру бактеріофагів і вірусів та їхні властивості (вірулентність, життєвий цикл тощо).

Радіаційна гематологія – галузь науки, що вивчає вплив радіації на кров, формені елементи, кровотворення (*мієлопоез*) тощо.

Радіаційна генетика – наука, що вивчає механізм спадкових змін (мутації) організмів у результаті опромінення, механізм їх збереження або елімінації (*лат. eliminatio* – винесення, виключення, видалення), припинення, поширення в геномі популяції тощо.

Радіаційна екологія (*радіоекологія*) – розділ екології, що вивчає накопичення, міграцію, кругообіг радіонуклідів у біосфері, земній корі, Світовому океані, континентальних водах, ґрунті, повітрі, окремих природних аренах і ландшафтах та вплив радіації на довкілля, вплив іонізуючого випромінювання, зумовленого наявністю радіоактивних речовин у довкіллі, на біогеоценози. Об'єкти радіоекології – космічна радіація, радіація закритих, відкритих джерел природної радіації Землі, антропогенна радіація та її дія на довкілля. Радіоекологія як наука зародилась в 1910-1920 роки. Піонером радіоекології можна вважати В.І. Вернадського.

Радіаційна імунологія – галузь науки, що вивчає вплив радіації на специфічні процеси імунитету, гуморального захисту та узагальнює результати імунологічних досліджень.

Радіаційна мембранологія – галузь науки, що вивчає зміни в структурі й функції мембран під впливом іонізуючого опромінення (транспорт речовин, сприйняття сигналів, підтримання мембранного біоелектричного потенціалу, регуляторні процеси тощо).

Радіаційна молекулярна біологія – наука, що вивчає вплив іонізуючого випромінювання на процеси, в яких беруть участь біологічні макромолекули (реплікація ДНК, транскрипція, трансляція, біосинтез білкових молекул, біогенез клітинних структур тощо).

Радіаційна онкологія – галузь науки, що вивчає вплив радіації на злоякісне перетворення клітин, розробляє можливості використання радіації для блокування росту злоякісних клітин тощо.

Радіаційна популяційна генетика – галузь науки, що вивчає механізм реалізації спадкових змін, індукованих радіацією, у популяціях.

Радіаційна селекція – галузь науки, близька до радіобіології рослин та радіаційної генетики, і вивчає методи одержання вихідного матеріалу для селекції культурних рослин шляхом дії радіації на спадкові зміни.

Радіаційна хімія – наука, що досліджує властивості хімічних форм, які виникають унаслідок взаємодії іонізуючих випромінювань із речовинами, та особливості їх хімічних перетворень. Ці процеси впливають на функціональну здатність різних систем клітини.

Радіаційна цитогенетика – галузь науки, що вивчає механізм радіаційно-індукованих перетворень цитогенетичних структур.

Радіаційне захоплення – захоплення ядром атома нейтрона з наступним випромінюванням γ -квантів. Цей процес обумовлює перетворення ядер.

Радіаційний розпад – весь процес розпаду нестабільних елементів.

Радіація – виділення елементарних частинок чи електромагнітних хвиль під час поділу атомів.

Радіоактивне забруднення біосфери - потрапляння радіоактивних ізотопів до складу живих організмів і у середовище їх життя (атмосферу, гідросферу, ґрунт), що здійснюється в результаті ядерних вибухів, аварій на АЕС, викидів у довкілля радіоактивних відходів, розробки радіоактивних руд, у результаті використання радіоактивних речовин у військовій та науковій діяльності.

Радіоактивні аерозолі – аерозолі з радіоактивною дисперсійною фазою. Природні радіоактивні аерозолі містять радіоактивні ізотопи калію, полонію, торію, урану тощо. Штучні радіоактивні аерозолі утворюються, наприклад, при атомних вибухах. Вони містять осколки ділення ядра і різні радіоактивні ізотопи.

Радіоактивні води – природні води, що містять підвищену кількість радіоактивних речовин. У підземних водах найчастіше присутні ізотопи радію-226, урану-238, радону-222. Радіоактивні води використовуються в лікувальних цілях і як пошукова ознака радіоактивних елементів.

Радіоактивні відходи (РАВ) – продукти, що утворюються при роботах з радіоактивними речовинами, і які містять радіоактивні ізотопи вище норми радіоактивної безпеки. Для профілактики шкідливого впливу на організм людини і оточуючого середовища трерді і рідкі радіоактивні відходи після відповідної обробки захороняються в спеціальних збірниках у підземних сховищах.

Радіоактивні елементи – хімічні елементи, всі ізотопи яких є радіоактивними. У періодичній таблиці елементів ці елементи починаються з технецію-98.

Радіоактивні препарати – у медичній практиці цю речовини, що містять радіоактивні ізотопи і застосовуються для медико-біологічних досліджень, діагностики і лікування.

Радіоактивні речовини (РР) – це речовини, до складу яких входять радіоактивні ізотопи; речовини, які здатні випромінювати енергію методом радіоактивного розщеплення.

Радіоактивність (лат. **радіо** –“випускаю”, “випромінюю” + **актівус** – “діяльний”) – це самовільне перетворення ядер атомів у деяких хімічних елементів в ядра інших елементів, що супроводжується виділенням іонізуючого випромінювання (самовільне перетворення нестійких атомних ядер в ядра інших елементів, що супроводжується випромінюванням. Відомі чотири типи радіоактивності: 1. Альфа-розпад, 2. Бета-розпад, 3. Спонтанне ділення атомних ядер, 4. Протонна радіація. Для радіоактивності характерне експоненціальне зменшення середнього числа ктивних ядер у часі. Відкрив радіоактивність А. Беккерель у 1896 році.

Радіоактивний аналіз – метод визначення якісного і кількісного складу речовин, оснований на вимірюванні енергії випромінювання радіоактивних ядер ізотопів, що утворюються під впливом потоку нейтронів, заряджених часток (протонів) тощо або гама-квантів.

Радіоактивний розпад – перетворення ядер, що супроводжується електромагнітним випромінюванням – гама-квантів (гама-фотонів).

Радіобіологія – наука, яка вивчає дію іонізуючого випромінювання на живі організми та їх угруповання. Це наука про дію всіх видів іонізуючого випромінювання на організми та їх сукупності. Радіобіологія займається пошуками різних заходів і засобів захисту організму від випромінювання і методів та шляхів його післярадіаційного відновлення від ураження. Вона займається прогнозуванням небезпечних для людини підвищених рівнів радіації, пошуками нових галузей використання іонізуючого випромінювання у медицині, сільському господарстві, мікробіології, промисловості переробки продуктів харчування і кормів для тварин тощо. Радіобіологія займається проблемами поліпшення довкілля. Радіобіологічні дослідження часто мають мультидисциплінарний характер, бо вони охоплюють явища й процеси, які відбуваються на різних рівнях організації біологічних систем: радіаційно-хімічні перетворення речовин, перебіг біохімічних, молекулярно-біологічних і клітинних процесів, складні реакції організмів, біоценозів, популяцій і біосфери в цілому. Мультидисциплінарність радіобіології зумовлює широту її методологічної основи.

Радіобіологія клітинних популяцій – галузь науки, що вивчає вплив радіації на популяційні реакції і функції.

Радіобіологія людини – галузь науки (близька до радіобіології тварин та медичної радіобіології), що вивчає вплив радіації на людину (гематологія, імунологія, екологія, нервова система, психічна діяльність головного мозку, обмін речовин, репродуктивна функція тощо).

Радіобіологія мікроорганізмів – галузь науки, що вивчає структурно-функціональну організацію бактерій під впливом радіації.

Радіобіологія тварин – наука, що вивчає дію радіації на тварин різних таксономічних груп.

Радіобезпека – комплекс заходів, що забезпечують безпеку роботи з радіоактивними речовинами і іншими джерелами іонізуючого випромінювання. В Україні діють нормативи та принципи радіаційної безпеки.

Радіодекомпоратори – це речовини, що прискорюють виведення радіонуклідів з організму через травний тракт, нирки, органи дихання і шкіру.

Радіоекологія – розділ екології, що вивчає накопичення, міграцію радіонуклідів у біосфері. Ця наука сформувалась в 50-ті роки ХХ століття. Предметом радіоекології є космічна, природня і штучна радіація, що забруднює довкілля. Радіоекологія вивчає розподіл радіонуклідів в атмосфері, світовому океані, земній корі і ґрунті, в природніх ландшафтах і аренах; вплив радіації на біоценози і біосферу. Піонером радіоекології є В.І. Вернадський.

Радіологія – це розділ радіофізики, що вивчає суть радіації (корпускулярної і фотонної); радіологія – як наука про використання радіації, зокрема, в медицині (радіо діагностика, радіотерапія, ультразвукова діагностика, магнітно-резонансна діагностика, агнітографія тощо). Зародилась радіологія в кінці ХІХ на початку ХХ століть. Піонери радіології є П'єр Кюрі, Марія Складовська-Кюрі.

Радіометрія – розділ радіофізики, що вивчає способи вимірювання променистої енергії і радіації.

Радіопротекція – зниження вражаючої дії іонізуючого опромінення, або підвищення стійкості до опромінення за допомогою фізичних (низька температура, вологість, освітленість, тиск), хімічних (агрегатний стан, зв'язування вільних радикалів, хімічна взаємодія), біологічних (стан нервової, імунної, ферментної систем, інтенсивність обміну речовин) радіопротекторів. Використовують радіопротектори до опромінення і в процесі опромінення.

Радіочутливість – чутливість організмів до дії іонізуючого опромінення. Вона може бути високою, середньою, низькою. Розрізняють рівні радіочутливості: атомний, молекулярний, клітинний, тканиний, органів, організму, виду. Характеризується радіочутливість дозою опромінення – напівлетальна (гине 50% опромінених організмів), критична (гине 70%) та летальна (гине 100% опромінених організмів). Радіочутливість найчастіше оцінюється за летальною дозою поглинутої радіації. Розрізняють рівні радіочутливості мікро та макрорівні, тобто на рівні молекул, органоїд, клітин, тканин, систем органів, організму.

Радіаційна аварія - незапланована подія на будь-якому об'єкті з радіаційною чи радіаційно-ядерною технологією, при якій відбувається втрата контролю над джерелом випромінювання і реальне (або потенційне) опромінення людей. Усі радіаційні аварії поділяються на дві групи: а) аварії, які не супроводжуються радіоактивним забрудненням виробничих приміщень,

проммайданчика об'єкта та навколишнього середовища; б) аварії, в результаті яких відбувається розгерметизація закритих джерел і радіоактивне забруднення середовища виробничої діяльності та проживання людей. Аварії першої групи супроводжуються додатковим зовнішнім γ -, рентгенівським, β - і нейтронним опроміненням людей. Аварії другої групи супроводжуються додатковим зовнішнім і внутрішнім опроміненням людей.

Радіаційна біоценологія – галузь науки, що вивчає вплив радіації домінантні й недомінантні види біоценозів, їх конкурентноспроможність під впливом іонізуючого опромінення, реструктуризацію із застосуванням методів біоценології.

Радіаційні втрати – втрати енергії заряджених частинок на утворення гальмівного рентгенівського випромінювання.

Радіаційний мутагенез – виникнення під впливом іонізуючого випромінювання і ультрафіолетових променів спадкових змін (мутацій). Під дією випромінювання виникають якісно ті ж мутації, що і без опромінення, але значно частіше. Співвідношення різних типів мутацій також може бути іншим. Радіаційний мутагенез використовується в генетичних дослідженнях у селекції промислових мікроорганізмів, сільськогосподарських і декоративних рослин. Підвищення частот шкідливих мутацій у результаті підвищення в біосфері вмісту радіоактивних ізотопів – одна з основних небезпек радіаційного забруднення біосфери.

Радіація – атом і інші атомні системи здійснюють випромінювання (радіацію) при квантових переходах зі збудженого стану до стану з меншою енергією.

Радіоблокатори - речовини, які зменшують надходження в організм радіонуклідів.

Радіодекорпоранти – речовини, які прискорюють виведення радіонуклідів з організму.

Радіоактивні відходи (РАВ) – найбільшою мірою це відходи ядерного палива, що прирівнюються до джерел радіації і підлягають переробці (сортуванню, спалюванню, цементуванню, плавленню тощо). На території України понад 5 тисяч підприємств, закладів, які продукують, застосовують, перевозять і зберігають РАВ.

Радіоастрономія – галузь науки, де радіаційні методи, методики і прилади (наприклад, радіоінтерферометр – радіотелескоп) використовуються людиною для вивчення всесвіту.

Радіологія – наука про радіацію; розділ радіаційної фізики.

Радіометрія – розділ прикладної ядерної фізики і радіобіології, що розробляє теорію і практику вимірювання дадіоактивності й ідентифікації радіоактивних ізотопів.

Радіоміметика – індукування процесів, подібних до променевого ураження (наприклад симптоми променевої хвороби при відсутності опромінення організму).

Радіомодифікація – в біології не спадкові зміни чутливості організму до дії радіації. Радіомодифікації обумовлюється фізичними (температура, світло, тиск, вологість), хімічними (рН). Біологічними факторами. Модифікаційні зміни можуть бути корисними або шкідливими, зворотними або незворотними. Модифікація може підвищувати чутливість до радіації, тоді в такому випадку мова йде про радіо сенсibilізацію і її фактори – радіо сенсibilізатори. А коли радіочутливість знижується, то мова йде про радіо протекцію і її фактори – радіопротектори.

Радіонуклід – це нестійкий нуклід, такий, що розпадається. Термін “радіонуклід” використовують для визначення молекул радіоактивних речовин; елементи, ядра атомів яких самовільно розпадаються, виділяючи енергію у вигляді гама-квантів, електричного заряджених бета-частинок, альфа-частинок або нейтронів.

Радіопротектори – речовини, які при введенні в організм зменшують уражувальну дію іонізуючого випромінювання, підвищують стійкість організму до радіації.

Радіорезистентність – стійкість до дії іонізуючої радіації.

Радіосенсibilізація – зростання чутливості організму до іонізуючої радіації. Речовини і фактори, що здійснюють радіо сенсibilізацію, називають радіо сенсibilізаторами. Радіо сенсibilізатори розрізняють фізичні, хімічні, біологічні.

Радіотерапія – використання радіації як лікувального заходу.

Радіочутливість – чутливість біологічних об'єктів до дії радіації (поняття зворотне радіорезистентності). Радіочутливість визначається дозами радіації, що обумовлюють той чи інший радіаційний ефект, наприклад, LD₁₀₀ – летальна доза; LD₇₅ – критична доза; LD₅₀ – напівлетальна доза; малі дози радіації – це такі дози, що не перевищують природного фону радіації.

Причини різної чутливості організмів до іонізуючого опромінення досконало ще не вивчено. Низьку чутливість комах і ракоподібних пояснюють підвищеним вмістом в них сполук, що мають радіопротекторні властивості: у комах це каталаза, що розщеплює перекиси, а у ракоподібних – амінокислоти, аміни і поліпептиди, що беруть участь у регуляції осмотичного тиску. Чутливість ссавців до опромінення залежить від індивідуальних особливостей організму і умов їхньої життєдіяльності.

Радіус Бора – радіус атома, що дорівнює приблизно $0,526\text{Å}$.

Радіус Ван дер Вальса – відстань, на яку до даного атома може наблизитись інший атом. *Ковалентний радіус* – відстань, що характеризує міжатомні відстані в молекулах

Радикали – уламки молекул, що можуть існувати самостійно лише короткі проміжки часу. Вони вступають у зв'язки з якою-небудь іншою молекулою або іншими радикалами.

Реакція надчутливості (РНЧ) рослин – загибель клітин, ініційована розпізнаванням ними патогену. Це приводить до невротизації тканини у місці

локалізації патогенна та обмеження його зони колонізації. Проявляється РНЧ у прискореній загибнлі інфікованих клітин – це тип захисту рослин від фітопатогенних мікроорганізмів. Іонізуюче випромінювання застосовується для дослідження основних етапів розвитку реакції надчутливості у залежності від дозових та часових характеристик.

Резонанси (резонансні частинки) – адрони, які можуть розпадатися за рахунок сильної взаємодії і тому мають дуже короткий період життя – порядку 10^{-22} – 10^{-24} секунди.

Рекомбінація електронів - повернення електронів на свої місця.

Релятивізм (лат. *relativus* = відносний) – 1) принцип відносності людських знань; 2) філософське вчення про відносність і умовність людського пізнання, що заперечує можливість існування об'єктивного знання.

Релятивістські ефекти – зростання маси в міру наближення швидкості частинки до швидкості світла.

Рентген (Р) – доза рентгенівського або гама випромінювання, під дією якого в 1 см^3 сухого повітря за нормальних умов утворюються іони, що несуть одну електростатичну одиницю кількості електрики кожного знака; доза фотонного випромінювання, при якій корпускулярна емісія, яка виникає в 1 см^3 повітря, утворює іони, які несуть 1 СІСЕ кількості електрики кожного знака ($1\text{Р} = 2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг), отже доза в 1 Р відповідає утворенню 2 млрд пар іонів в 1 см^3 повітря).

Рентгенівське випромінювання – електромагнітне випромінювання, складене з гальмівного та характеристичного випромінювання; випромінювання, що утворюється при гальмуванні швидких електронів в електричному полі ядра атомів речовини, або при перебудові електронних оболонок атомів при іонізації і збудженні атомів і молекул. При різних переходах атомів і молекул зі збудженого стану до стану спокою може здійснюватися випромінювання світла (інфрачервоні, ультрафіолетові промені).

Репарація (лат. *reparo*- відновлюю, знов одержую) – це властивість клітинами всіх організмів здійснювати процес відновлення природної структури ДНК, ушкодженої при нормальному біосинтезі ДНК в клітині, або в результаті впливу фізичних чи хімічних факторів. Здійснюється репарація під впливом спеціальних ферментів клітини. Підтвердження наявності репарації вперше були одержані в 60-ті роки 20-го століття на одноклітинних організмах, які піддавалися іонізуючому опроміненню. В ушкодженій клітині розрізняють два типи ушкодження: *потенційно летальне* та *сублетальне*. Потенційно летальні ушкодження – це такі, що можуть обумовити загибель клітини, але, за певних умов, клітини можуть бути і відновлені. Під сублетальними ушкодженнями розуміють такі типи, котрі самі по собі ще не приводять до загибелі клітини, але при наступних їх ушкодженнях можуть обумовити загибель клітини. Тому і репарацію розрізняють двох типів, що здійснюється за умови потенційно летальному і сублетальному ушкодженні.

Репарація (внутрішньоклітинна) – відновлення структури та функції генетичного апарату клітини, пошкодженого радіацією або іншими мутагенними агентами, головним чином за рахунок діяльності спеціалізованих ферментних систем.

Ресурсозбереження – система заходів раціонального природокористування щодо води, ґрунту та інших вичерпних природних ресурсів.

Референтний вік – це інтервал часу між моментом надходження радіонуклідів до організму та віком 70 років.

Рідкі радіоактивні відходи – розчин неорганічних речовин, органічні рідини (масла, розчинники).

Ризосфера – кореневмісний шар ґрунту

Розмір пробігу (проникаюча спроможність) – шлях, пройдений часткою в речовині до її повного зникнення

Розсіяне випромінювання – випромінювання, яке не має певного напрямку розповсюдження.

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.

С

Санпропускник (у межах даного документа) - приміщення, призначене для зміни одягу, взуття, санітарної обробки персоналу, контролю радіоактивного забруднення шкіряних покривів, засобів індивідуального захисту, спеціального й особистого одягу персоналу.

Саншлюз (у межах даного документа) - приміщення між зонами установи, призначене для попередньої дезактивації і змін додаткових засобів індивідуального захисту.

Саркоми – злоякісні переродження м'язевих, хрящевих, кісткових, сполучних тканин.

Світло – оптичне випромінювання, електромагнітні хвилі в інтервалі частот, що сприймаються оком людини ($7,5 \times 10^{14}$ - $4,3 \times 10^{14}$ Гц). Світло володіє хвильовими і корпускулярними властивостями, тобто воно є одночасно і хвилею і частинкою. Випромінюється, поглинається, поширюється світло квантами (фотонами) переривисто (порціями), тобто йому властива дискретність.

Сейсмовибухові хвилі – хвилі, що виникають при ядерних підземних і наземних вибухах.

Сенсибілізатор – конкретний фактор, що підвищує чутливість біологічної системи до його дії, наприклад, чутливість до радіації підвищує

кісень,, залізо, ртуть тощо. Сенсibilізатори поділяють на фізичні, хімічні і біологічні.

Сенсibilізація (лат. *sensibilis* – чутливий) – підвищення чутливості біологічної системи до певного фактора зовнішнього середовища; процес, внаслідок якого підвищується чутливість тваринного організму щодо повторної дії на нього подразних чужорідних речовин. З сенсibilізацією пов'язані алергічні захворювання, дія деяких отрут.

Світловий удар – періодичне короткочасове опромінення рослин сильним світлом.

Сільськогосподарська радіологія - галузь науки, що розробляє й обґрунтовує агрохімічні, агротехнічні та інші заходи для запобігання накопичення радіоактивних речовин у ґрунті, рослинах, кормах, продуктах харчування та потрапляння їх в організм людини.

Сила дози – доза іонізуючої радіації випромінювання або поглинання речовиною за одиницю часу. Одиниці вимірювання мр/год, Зв/год

Сингулярність – геометричне місце точок у чотиривимірному просторі, на якому величини, що визначають поле, зазнають розриву.

Синдром (грец. *sindrome* – скупчення) – закономірне поєднання синдромів, що обумовлюється єдиним патогенезом, розглядається як самостійне захворювання, наприклад, *синдроми Дауна, Меньєра* тощо.

Синдром Дауна - одна із форм *олігофренії*, що обумовлена аномалією хромосомного набору, характеризується гальмуванням інтелектуального і фізичного розвитку з ураженням діяльності залоз внутрішньої секреції, з проявами виродств. Синдром Дауна проявляється в дуже тяжкій формі зразу після народження. Описав вперше в в 1966 році англійський лікар Л. Даун.

Синдром радіаційного ураження – ушкодження окремих клітин, тканин, складних інтегрованих систем організму прямою дією іонізуючого опромінення та ряду побічних процесів, які супроводжуються зниженням властивих для них фізіологічних функцій. Розрізняють синдром I, II, III рівнів. Синдром I-го рівня спричинений інактивацією клітин кровотворної тканини кісткового мозку (кістково-мозковий) та меристеми у рослин. Синдром II-го рівня спричинений ушкодженням клітин епітелію травного тракту (гастроінтестинальний). Синдром III-го рівня розвивається внаслідок ушкодження клітин центральної нервової системи (синдром ЦНС – центральної нервової системи).

Синергізм радіаційний – підсилення радіаційного ураження іншими неблаготворними факторами (наприклад, куріння).

Синхроциклотрон (фазотрон) – циклічний резонансний прискорювач заряджених частинок, в якому вони рухаються в постійному магнітному полі й прискорюються високочастотним електричним полем; застосовуються у галузі фізики атомного ядра для прискорення важких частинок (протонів, дейтронів, альфа-частинок) до енергії кількох сотень мільйонів електрон-вольт.

Соматичні ефекти радіації – пошкодження, що проявляються протягом життя організму, але не передаються потомству.

Соматичний канцерогенез – трансформація соматичних клітин, які розмножуються мітотичним поділом.

Сомнамбулізм (трансовий стан) – ураження вищої нервової діяльності людини, що проявляється в трасовому (маніакальному) стані, наприклад, у такій формі – людина вночі встає з постелі і несвідомо бродить по дому. У маніакальному стані створив етичні закони П'ютер і Кальвін, у вісні побачив хімічну формулу Август Кекупе, а Дмитро Менделєєв – періодичну систему, Нільс Бор – структуру атомного ядра. Є думка, що сомнамбулізм може обумовлюватися хронічним опроміненням. В останні роки життя сомнамбулізмом були уражені П'єр Кюрі і Марія Складовська-К'юрі.

Спін (англ. *spin* – крутитись, обертання) – власний момент імпульсу, кількості руху мікрочастинок, що має квантову природу і не пов'язаний з рухом частинки як цілого. Спін – власний момент імпульсу елементарних частин. Спін вимірюється в одиницях *Планка постійної* і може бути цілим (0, 1, 2 ...) або напівцілим (1/2, 3/2, ...).

Справжні елементарні частинки («аристократи») – наприклад, кварки, з яких будуються всі інші.

Спрямоване випромінювання – випромінювання з визначеним напрямом поширення.

Стала розпаду – характерна величина для даного ізотопу, що вказує на долю або частку радіоактивних атомів, які розпадаються за одиницю часу.

Сталий розвиток – згідно Комісії Брундтланд (1987 рік) сталий розвиток визначається як такий, що задовольняє потреби і сподівання теперішнього покоління та не нараження небезпеку здатність майбутніх поколінь задовольняти свої потреби.

Стохастична радіобіологія – галузь науки, що вивчає і розробляє концепцію ймовірного характеру первинних подій радіаційного ураження макромолекул у клітині та їх участі в подальшому формуванні радіаційного ураження клітини.

Стохастичні (ймовірні) ефекти – не пов'язані з дозовим порогом, випадкові, ймовірні ефекти, обумовлені малими дозами, певною мірою пов'язані з теорією мішені; ті радіобіологічні реакції, які не мають дозового порога (аберації хромосом, формування точкових мутацій, втрата проліферативної активності у результаті опромінення, що супроводжуються патологічними процесами в клітині та організмі). Для прояву стохастичних ефектів іноді потрібні досить тривалі проміжки часу після опромінення.

Стохастичні ефекти поділяють на такі:

- соматико-стохастичні (лейкози, пухлини);
- генетичні (домінантні і рецесивні, хромосомні аберації);
- тератогенні (морфологічні, розумові).

Всі радіобіологічні ефекти протікають у декілька етапів, наприклад, фізичний, хімічний, біологічний, і на різних рівнях.

Сублетальні ушкодження - це такі типи ушкоджень, котрі самі по собі ще не приводять до загибелі клітини, але при наступних їх ушкодженнях можуть обумовити загибель клітин.

СУЗ – система управління захистом. Головним чином складається з нейтронопоглинаючих стержнів.

Сцинтиляція – мерехтіння, світлові ефекти, короточасний спалах світла, що виникає під час проходження окремої зарядженої мікрочастинки крізь деякі речовини, що їх називають *сцинтиляторами*, або *фосфорами*.

Т

Тахіон – частинка матерії, яка володіє швидкістю, що перевищує швидкість світла.

ТВЗ – тепловиділяюча збірка, що включає паливну касету і її кріплення. ТВЗ знаходиться в активній зоні реактора.

Тверді радіоактивні відходи – вироби, деталі машин та механізмів, матеріали, біологічні об'єкти, відпрацьовані радіоактивні джерела.

Телепатія (Ейштейнівська не локальність) (грц. photos) – здатність безпосередньо передавати на відстані інформацію про суб'єктивний стан однієї істоти іншій.

Теоретичні аспекти радіобіології включають: точкового нагріву, мішені (попадання), стохастичні (вірогідносні), детерміністичні, ліпідних радикалів та структурно-метаболична теорія.

Теорія збуджень – теорія про порушення фізичного спокою і рівноваги, про поглинання і вилучення енергії тощо.

Тератогенна дія радіації – дія іонізуючої радіації на ембріон в період вагітності, що обумовлює появу вродств в онтогенезі та в наступних поколіннях.

Термалізація – зниження енергії активованих електронів при іонізації за рахунок їх співударяння з атомами і молекулами.

Термоядерне паливо – ізотопи, які використовують для одержання вибуху в результаті реакції синтезу їх атомних ядер. В якості термоядерного палива використовують ізотопи водню – дейтерій і тритій.

Толерантна доза доза опромінення – доза, що дорівнює 1/100 пороговій еритемній дозі. Вона експериментально не обґрунтовувалась, а визначена з суто із логічних міркувань Д. Матшеллерем(США) у 1925 році.

Толерантність (лат. tolerantiā – терпіння), 1. Імунологічний стан організму, за умов якого він нездатний синтезувати антитіла у відповідь на введення певних антигенів при збереженні імунної реактивності до інших антигенів. Проблема толерантності дуже важлива при трансплантації тканин і органів. 2. Здатність організму переносити неблагоприємний вплив того чи

іншого фактору середовища., наприклад, дії радіації. 3. Терпимість до чужої думки, поведінки, вірування, світобачення тощо.

Тордіони – низько енергетичні реліктові нейтрино або кванти торсійного поля.

Торсионні або спінові поля (анг. *torion* – кручення, обертання) – фізичний термін, введений математиком Елі Картаном у 1913 році для позначення гіпотетичного фізичного поля, що породжується крученням, обертанням (можливо галактик. Всесвіту тощо). Є думка. Що торсіоне поле поширюється миттєво і без затрат енергії. Торсіоне поле – п'ятий стан речовин.

Тотипотентність (лат. *totus* – все + *potentia* – можливість) – здатність стовбурних (камбіальних) клітин утворювати любу іншу з приблизно 350 типів клітин організму ссавців. Прикладом такого процесу може бути ріст і розмноження зиготи.

Транзиторні стани, процеси, явища – це такі стани, процеси і явища в живій системі, що за певних умов виникають, проявляються, а потім безслідно і без ніяких наслідків зникають.

Трек – слід, у формі скупчення іонів, що їх залишають заряджені частинки високої енергії у речовині; відбиток зарядженої частки в речовині.

Тритій (лат. *tritium* – третій) – у вільному виді це радіоактивний газ, ізоотоп водню з масовим числом 3. Ядро тритію складається з протона і двох нейтронів. Період напіврозпаду 12,26 років. Тритій відкрили Резерфорд, Оліфа ат. Партек у 1934 році. Тритій використовується для термоядерних реакцій і як ізотопний індикатор.

Тяжкі метали – кольорові метали з щільністю більшою, ніж у заліза (7874 кг/м³): Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. Деякі важкі метали є токсинами, що не руйнуються у ґрунті і воді, а мігрує трофічними ланцюгами.

У

Ультрафіолетове випромінювання – найбільш короткохвильова частина спектра сонячного світла (довжиною хвилі 400×10^{-9} м).

Українське ядерне товариство – створене у квітні 1993 року, діяльність якого спрямована на роботу з молоддю, студентами, учнями, громад кістю; веде інформативну видавничу та через засоби масової інформації; займається встановленням міжнародних зв'язків та вирішенням екологічних проблем тощо.

Уражаючі радіоактивні продукти – це альфа -, бета – частинки і гама випромінювання.

Ураження комбіноване при ядерному вибусі – одночасне ураження ударною хвилею, світловим випромінюванням і проникаючою радіацією. Кожна із складових комбінованого ураження ускладнює і підсилює наслідки ураження.

Ураження проникаючою радіацією – суть полягає в іонізації атомів і молекул, що входять до складу тканин і органів організму, в результаті чого розвивається променева хвороба.

Ураження світлове при ядерному вибусі – ураження, що обумовлює опіки шкіри, слизових оболонок, ураження очей. Розрізняють чотири ступені опіків.

Ураження ударною хвилею – майже в усіх випадках безпосереднє і опосередковане (пряме і непряме) травмування.

Уран – радіоактивний метал, сріблястого кольору з голубуватим відтінком, володіє високою хімічною активністю. У природі зустрічається лише у вигляді сполук. Вміст урану в рудах не перевищує 1%. У якості ядерного пального використовується уран-238. Основні ізотопи урану уран-333, -234, -235, -239. Уран характеризується альфа-розпадом. Період напівростаду урану-238 дорівнює $4,51 \times 10^9$.

Уровська хвороба - за умови, коли в кістках є дефіцит кальцію, якій витісняється стронцієм і проявляється ломкістю, деформацією кісток. Іонізуюче опромінення призводить до уровської хвороби.

Ф

Фактор зміщення дози (ФЗД) – використовується для визначення захисної дії радіопротектора, що обраховується діленням напівлетальної дози захищеного організму на напівлетальну дозу для незахищеного організму.

Фактори модифікації – фізичні - температура, вологість, світло, кількісні показники радіації; хімічні – рН, сенсibilізатори, протектори; біологічні – фаза клітинного поділу, проліферативна активність, репараційна здатність.

Фактор розподілу дози – зміни біологічної ефективності опромінення зумовлені нерівномірним розподілом по тканинах організму поглинутих радіонуклідів.

Феноли – слабкі кислоти, здатні утворювати сполуки з металами (гідрокінон, пірокатехін, пірогалол, гваякол, нафтол та ін). Фенольні сполуки широко застосовуються у харчовій, фармацевтичній, парфумерній галузях як антиоксиданти.

Фемтометр – одиниця виміру, що дорівнює 10^{-15} метра. Іноді цю одиницю називають фермі, на честь італійського фізика Е.Фермі.

Ферміони (від прізвища фізика *Енріко Фермі*) – спільна назва для протонів, електронів, нейтронів, нейтрино.

Фітон – система з частинок і античастинок. Щільне упакування фітонів. За спрощеною схемою, утворює середовище, щг можна називати вакуумом.

Фобія (грец. *страх, побоювання*) – у складних словах відповідає поняттям страх перед чимсь чи чогост, наприклад, радіофобія, гідрофобія тощо.

Фотоефект – випромінювання електронів речовиною під дією світла.

Фотоефект ядерний – при поглинанні гама-кванта ядро набуває надлишок енергії без зміни нуклонного складу, перетворюючись в складене ядро, готове до ядерної реакції – викинути із себе нуклон, головним чином нейтрон.

Фотон – елементарна частинка, квант електромагнітного випромінювання (у вузькому розумінні – світла).

Ферритин – основний білок, що депонує залізо в організмі.

Фероцинові болюси – сорбент ^{137}Cs .

Фібоначчі число – ряд чисел, запропонований італійським математиком Леонардо Пізанським-Фібоначчі (1180-1240), у якому кожне наступне число після 1 дорівнює сумі двох попередніх: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 і так далі.

Фотоелектрони – електрони, які виникають унаслідок фотоелектричного ефекту, вилучаючись з орбіт атома.

Фотоелектричне поглинання – процес, при якому енергія падаючого фотона повністю поглинається атомом, з якого в наслідок цього вилітає електрон з енергією, що відрізняється від енергії падаючого фотона на значення енергії зв'язку. За умови фотонів порядку атомних енергій зв'язку фотоефект є головним механізмом поглинання γ -випромінювання атомами.

Фотон (грец. *світло*) – квант світла, гамма-квант тощо. Фотон – частинка світла, порція електромагнітного проміння будь-якої частоти. Фотони (кванти) – це згущення електромагнітних хвиль, з яких можуть народжуватися (фотонародження) частинки і античастинки.

Фотони називають також квантами (квант світла, гама-квант тощо). Фотон – квазічастинка, введена в науку російським вченим І. Томом.

Фотонне випромінювання – потік електромагнітних хвиль, що поширюється у вакуумі з швидкістю 300000 км/сек. Це гама- і рентгенівське випромінювання. Фотонне випромінювання розрізняється умовами утворення і властивостями: довжиною хвилі й енергією. До фотонного випромінювання належить й ультрафіолетове випромінювання – найбільш короткохвильова частина спектра сонячного світла (довжиною хвилі 400×10^{-9} м).

Фотосинтетично активна радіація (ФАР) – мінімальна кількість сонячної радіації за якої починає здійснюватися фотосинтез, становить біля 0,17 МДж.

Фундаментальні взаємодії в природі – слабкі і сильні. До слабких відносять гравітаційні та електромагнітні взаємодії, а до сильних – ядерні.

X

Характеристичне випромінювання – фотонне випромінювання з дискретним спектром, яке виникає при зміні енергетичного стану атома.

Хвороба Мойямоїа – ураження кровозабезпечення головного мозку.

Хіггса механізм – вважається, що у ранньому Всесвіті частинки не мали маси, а потім її набули (за рахунок бозона або, як його називають. “частинка Бога”.

Хорея Гентингтона – тяжке генетичне захворювання, що проявляється у людей віком між 30 – 50 роками, обумовлює поступову дегенерацію нервової системи. Ураження цією хворобою пов’язують з іонізуючим опроміненням батьків.

Хронічне опромінення – якщо об’єкт зазнає дії іонізуючого випромінювання протягом усього життя.

Ц

Циклотрон – електромагнітний прилад (гармата) для отримання швидких заряджених частинок (протонів, дейтронів, альфа-частинок) з метою розщеплення атома.

Ш

Шар повного поглинання – товщина будь-якої речовини, що забезпечує вдвічі захист від проникаючої радіації.

Швідкі ядра – генеровані потоки ядер з допомогою прискорювачів практично всіх хімічних елементів.

Штучне джерело іонізуючого випромінювання – джерело випромінювання, створене людиною: ядерні вибухи, реактори АЕС, прискорювачі заряджених частинок, рентгенівські апарати, апарати засобів зв’язку високої напруги тощо.

Щ

Щільність забруднення ґрунту цезієм-137 – вміст (радіоактивність) цезію-137 в 1 м². Вимірюється в кБк/м². До Чорнобильської катастрофи, як результат випробувань ядерної зброї в атмосфері, щільність забруднення ґрунту цезієм-137 в Україні була близько 4 кБк/м². Після катастрофи радіоактивно забрудненими вважаються території з щільністю забруднення ґрунту цезієм-137 понад 40 кБк/м² (населення відселялося при щільності забруднення ґрунту вище 555 кБк/м²).

Щільність потоку – характеризує рівень радіоактивної забрудненості поверхності, вимірюється в часточках, що випускаються за 1 хвилину з 1 см² поверхні.

Є

Я

Ядерна зброя – атомна, ядерна, термоядерна, воднева, нейтронна. Перша атомна бомба була випробувана 16 липня 1945 року в пустелі Аламогордо (США). Особливість нейтронної зброї полягає в тому, що вона вражає органічні речовини, а неорганічні залишаються майже неураженими.

Ядерний фотоефект – при нагріванні гама-квантами ядро атома одержує надлишок енергії без зміни свого уклонного складу, але перетворюється в ядро, що готове до ядерної реакції викинути із себе нуклон, головним чином нейрон.

Ядра віддачі – це ядра будь-яких елементів після зіткнення з нейтронами в яких зростає кінетична енергія і, які набули здатності здійснювати іонізаці, збуджувати атоми і молекули.

Ядро – центральна частина атома. Поняття про ядро в науку ввів у 1911 році Ернст Резерфорд.

Якість випромінювання – це показник аналогічний *відносній біологічній ефективності випромінювання*, це якби безрозмірна величина, яка показує у скільки разів випромінювання даного типу ефективніше щодо того, яке береться за одиницю.

Питання для самоконтролю та примірні теми рефератів по курсу “РАДІОБІОЛОГІЯ”

1. Визначення радіобіології як науки
2. Проблеми й напрями розвитку радіобіології
2. Історія розвитку радіобіології
3. Внесок зарубіжних і вітчизняних вчених у розвиток радіобіології
4. Характеристика типів іонізуючого випромінювання
5. Характеристика джерел радіації
6. Характеристика космічного опромінення
7. Характеристика природного опромінення
8. Характеристика штучного опромінення
9. Техніка радіаційної безпеки.
10. Радіочутливість вижих систем
11. Радіаційно хімічні та біохімічні процеси в опроміненій клітині.
12. Методи радіобіологічних досліджень
13. Характеристика кисневого ефекту
14. Радіочутливість тварин різних таксономічних груп та видів.
15. Радіаційний синдром у ссавців.
16. Характеристика критичних органів.
17. Біологічні фактори модифікації реакції тварин на опромінення.
18. Вплив опромінення на регенерацію у тварин.
19. Дія опромінення на імунну систему тварин
20. Радіаційний канцерогенез у людини та тварин.
21. Дія радіації на кров тварин.
22. Принципи лікування при радіаційному ураженні.
23. Застосування радіації в народному господарстві.
24. Застосування радіації в сільському господарстві.
25. Характеристика відкритих та закритих джерел радіації

26. Характеристика процесу іонізації
27. Радіочутливість рослин.
28. Характеристика інкорпорованої радіації.
29. Модифікація променевих уражень
30. Принципи і способи радіаційного захисту.
31. Характеристика малих доз радіації.
32. Характеристика біологічного забруднення навколишнього середовища.
33. Природна радіоактивність і еволюція видів.
34. Індивідуальний захист від опромінення
35. Характеристика променевих захворювань.
36. Поняття радіогормезису.
37. Визначення апоптозу.
38. Особливості дозиметричних вимірювань у сільському господарстві.
39. Міграція радіонуклідів в атмосфері.
40. Джерела надходження радіонуклідів до навколишнього середовища
41. Роль лісів у первинному затриманні радіонуклідних викидів.
42. Теорія прямого та непрямого впливу радіації.
43. Пострадіаційне відновлення клітин.
44. Особливості метаболізму радіонуклідів в організмі тварин.
45. Характеристика радіаційного забруднення диких промислових тварин.
46. Поняття про радіопротекцію і радіопротектори.
47. Принципи та норми радіаційної безпеки.
48. Техніка радіаційної безпеки.
49. Принципи ведення сільського господарства на радіаційно забруднених територіях.
50. Характеристика радіаційних технологій в зооінженерії та ветеринарній медицині.
51. Характеристика радіаційних біоіндикаторів.
52. Шляхи надходження радіонуклідів до організму тварин.
53. Вплив радіації на мутагенез.
54. Характеристика радіаційного забруднення рослин.
55. Характеристика фізичних, хімічних, біологічних факторів, що впливають на радіаційний ефект.
56. Поняття про радіосенсибілізацію і сенсибілізатори.
57. Характеристика радіоактивних речовин за рівнями радіотоксичності.

Примірна форма складання тестів по курсу “Радіобіологія” при самостійній роботі

1. Радіобіологія - це наука про наступне:
 - вплив радіації на косну природу;
 - вплив радіації на процеси фотосинтезу;
 - вплив радіації на всі процеси життєдіяльності живих систем.
9. Іонізуюче випромінювання це?
 - радіація.
 - радіобіологія,
 - радіонукліди.
10. Що таке ізотоп ?
 - молекули органічної речовини;
 - хімічні елементи з однаковою атомною масою, але різним електричним зарядом;
 - хімічні елементи з однаковим електричним зарядом, але з різною атомною масою.
11. Що називають “нуклідом”?
 - облігативні органоїди ядра живої клітини;
 - корпускулярні частинки електронних орбіт з негативним електрзарядом;
 - це спільна назва для різних корпускулярних частин ядра хімічного елемента.
12. Дія радіації на кров тварин і людини:
 - стимулює мієлопоез;
 - гальмує мієлопоез і руйнує формені елементи крові;
 - гальмує фагоцитоз та піноцитоз.
13. Дія іонізуючого випромінювання на імунну систему тварин і людини:
 - підвищує резистентність організму;
 - знижує резистентність;

- гальмує інтенсивність синтезу ферментів.
14. Основний принцип лікування злоякісних пухлин з використанням радіації?
- використання летальних доз радіації;
 - опромінення всієї поверхності тіла людини;
 - локальне дозоване опромінення злоякісної пухлини.
15. Суть теорії мішені?
- хімічна дія радіації на живі мікроструктури;
 - механічна дія корпускулярних часток радіації на мікроструктури;
 - Фізична дія радіації на імунну систему організму тварин.
16. Застосування радіації в генетиці?
- для фіксації рецесивних ознак;
 - для спрямованого мутагенезу;
 - для фіксації домінуючих ознак.
17. Толерантність тваринних організмів до радіації?
- дуже висока;
 - дуже низька;
 - залежить від дози, типу, часу, віку та фізіологічного стану тварин.
18. Застосування радіації в сільському господарстві?
- в селекції рослин і тварин;
 - для підвищення репродуктивної функції тварин;
 - для подовження тривалості життя тварин.
19. Інкорпорована радіація?
- космічне іонізуюче випромінювання;
 - радіація радіонуклідів, які проникли всередину організму;
 - радіація наземних природних джерел.
20. Процес іонізації атомів?
- набуття атомами хімічного спокою;
 - порушення рівноваги електричних зарядів між ядром і електронними орбітами атома;
 - зміна маси атома.
21. Автор відкриття природної радіації?
- А. Ейнштейн;
 - К. Беккерель;
 - М. Склодоаська-Кюрі.
22. Фактор екрану як захист від?
- інкорпорованої радіації;
 - корпускулярних частинок радіації;
 - Електромагнітних хвиль.
23. Розподіл рослин за здатністю накопичувати радіонукліди здійснюється за виділенням кількості груп?
- двох;
 - п'яти;

- трьох.
- 24. Радіометрія - це розділ?
 - біотехнології;
 - ядерної фізики, радіоекології та радіобіології;
 - біологічної та органічної хімії.
- 25. Використання радіації в зоогігієні?
 - для знезараження гною;
 - для знезараження води;
 - для знезараження молока
- 26. Українські вчені, які є основоположниками радіології і радіобіології?
 - І.І. Мечніков, Д.С.Самойлович, І.П. Прокопович;
 - І.П. Пулюй, Р.М.Пляцко, Д.М.Гродзинський;
 - М.В. Тимофієв-Ресовський, М.В. Вавілов, Г.С. Філіпов.
- 27. Міграція радіонуклідів здійснюється?
 - з допомогою власних органоїдів;
 - з допомогою руху води, повітря, пилу, живих організмів;
 - з допомогою спеціальних транспортних засобів.
- 28. Здатність лісів щодо затримання і накопичення первинних радіонуклідних викидів?
 - дуже низька;
 - дуже висока;
- 29. Методика відбору проб ґрунту для радіологічних досліджень на сільськогосподарських угіддях?
 - конверту;
 - 5% від загальної території;
 - методом прямої лінії.
- 30. Яка сіль у дослідах Анрі Беккереля проявляла здатність діяти на фоточутливі матеріали через непрозорі предмети:
 - уранова;
 - кам'яна;
 - солі торія.
- 31. Одиниці вимірювання радіоактивності:
 - пікокюрі;
 - беккерелі;
 - обидва варіанти вірні.
- 32. β -випромінювання – це потік заряджених частинок:
 - позитивно;
 - негативно;
 - нейтрально.
- 33. Термін “ізотопи” запропонував у 1910 році:
 - Содді;
 - Томсоном;
 - Кулоном.

34. Хто перший виміряв заряд електрона:

- Ландау;
- Мілікен;
- Курчатов.

35. Прилад для вимірювання іонізуючого випромінювання називається:

- тонометр;
- дозиметр;
- термометр.

36. Радіаційна безпека :

- зона радіаційно незабруднена;
- розробляє методи зменшення штучної та природої радіації на живі системи;
- розробляє методи захисту живих систем від впливу радіації.

37. Елементарний неподільний елемент, що складається з ядра і електронів:

- молекула;
- протон;
- атом.

38. Наука про дію всіх видів іонізуючого випромінювання на живі системи:

- радіолокація;
- радіобіологія;
- радіостимуляція.

39. Предметом радіобіології є:

- вивчення впливу іонізуючого випромінювання на живі системи;
- вивчення використання радіації в енергетиці;
- вивчення складу іонізуючого випромінювання.

40. Хто в 1665 році ввів у науку термін “клітина”:

- П. Кюрі;
- М. Склодовська-Кюрі;
- Р. Гук.

41. До I-ої групи критичних органів відносять:

- шкіра, кістки, кінцівки;
- червоний кістковий мозок, гонади;
- печінка, легені.

42. Які органели називають “енергетичними станціями” клітини:

- комплекс Гольджі;
- вакуолі;
- мітохондрії.

43. Радіобіологія це?

- наука, що вивчає вплив радіації на живі системи.
- наука, що вивчає обмін речовин у живих системах,
- наука, що вивчає дію радіації на неживу природу.

44. Метод вивчення розподілу радіоактивних речовин в об'єкті називається
- радіологія,
 - авторадіографія,
 - авторадіограма.
45. Закон про залежність радіочутливості організму від проліферативної активності сформулювали?
- П'єр Кюрі і Марія Складовська-Кюрі;
 - Бригоньє і Трибонто;
 - В.М. Тимофеев-Ресовський та І.М. Гудков.
46. Як називається наука про дію радіації на живі системи:
- радіометрія;
 - радіобіологія;
 - агрономія.
47. Що означає термін «атом»?
- невеликий;
 - неподільний;
 - неактивний.
48. Атоми, що мають в ядрі однакову кількість протонів і різну кількість нейтронів називаються:
- нуклідами;
 - ізотопами;
 - ізомерами.
49. Термін «клітина» ввів у науку:
- Михайло Ломоносов;
 - Дмитро Менделєєв;
 - Роберт Гук.
50. Дія іонізуючого випромінювання на імунну систему тварин і людини:
- гальмує інтенсивність синтезу ферментів;
 - знижує резистентність;
 - підвищує резистентність організму.

Предметний покажчик

А

Аберації – 35, 112
 Автографія – 13, 112
 Альфа-частинки – 112
 Активність – 112
 Ампліфікація гена – 112
 Апоптоз – 73, 112

Б

Беккерель – 112
 Бер – 112
 Бета-частинки – 112

В

Відкриті джерела радіації – 112
 Відносна біологічна ефективність – 113
 Внутрішнє іонізуюче опромінення – 113

Г

Гальмівне випромінювання – 113
 Гама-випромінювання – 113
 Гама-кванти – 113
 Генетична дія іонізуючої радіації – 34, 72, 113
 Генетично значима доза – 34, 113
 Гормезис радіаційний – 33, 113
 Гранична доза – 113
 Граничне річне надходження – 113
 Гранично допустиме надходження – 114
 Грей – 32, 35, 114
 Грей за секунду – 114
 Групи критичних органів – 114
 Групи радіотоксичності – 27, 28, 114

Д

Детерміністичні ефекти – 33, 114
 Джоуль – 114
 Доза – 114
 Доза випромінювання – 115
 Доза еквівалентна – 115
 Доза експозиції – 115
 Доза опромінення – 115
 Доза поглинання – 115

Дозовий поріг – 115
 Дозиметрія іонізуючого випромінювання – 115

Е

Еквівалентна доза – 115
 Експозиційна доза – 115
 Ефективна еквівалентна доза – 115
 Ефективна енергія – 115

З

Закриті джерела радіації – 115
 Збуджений стан – 19, 115
 Зіверт – 116
 Зіверт за секунду – 116
 Змішане випромінювання – 100, 101, 116
 Зовнішнє опромінення – 116

І

Ізотопне випромінювання – 7, 19, 116
 Ізотопні індикатори – 12, 116
 Індикаторний метод – 116
 Інкorporація – 116
 Іонізуюча радіація – 116
 Іонізуюче випромінювання – 66, 67, 68, 116

К

Квант - 19
 Керма – 116
 Кисневий ефект – 30, 116
 Кларкові концентрації – 116
 Коефіцієнт якості – 117
 Колективна доза – 117
 Критичні органи – 29, 117
 Кулон на кілограм – 117
 Кюри – 14, 117

Л

Лінійна передача енергії – 117
 Лінійна щільність радіації – 117
 Лінійні втрати – 117

М

Мікродозиметрія – 13, 117
 Міра радіочутливості – 117

Модифікаційні фактори - 31
 Моноенергетичне випромінювання – 117
 Мультигенеративний канцерогенез – 73, 117

Н

Нейтрон – 18, 19, 117
 Нукліди – 19, 117

П

Період напіврозпаду – 24, 117
 Піони – 19, 117
 Питома радіоактивність – 118
 Природна радіоактивність – 25
 Природний радіоактивний фон – 27, 110
 Променевий синдром - 69
 Проникаюча радіація – 118
 Протектор – 31, 89, 118
 Протон – 19, 118
 Потужність дози – 118

Р

Рад – 28, 118
 Радіоактивність – 25, 118
 Радіобіологія – 7, 10, 11, 13, 118
 Радіобезпека – 36, 40, 119
 Радіаційна генетика – 34, 119
 Радіоактивне забруднення біосери – 8, 9, 10, 100, 101, 102, 119
 Радіоактивні аерозолі – 119
 Радіоактивні води – 119
 Радіоактивні відходи – 119
 Радіоактивні елементи – 119
 Радіоактивні препарати – 24, 119
 Радіометрія – 59, 60, 119
 Радіоміметика – 30, 119
 Радіопротектори – 77, 78, 79, 119
 Радіоактивні речовини – 23, 120
 Радіоактивний аналіз – 120
 Радіаційний мутагенез – 120
 Радіація – 8, 120
 Радіонукліди – 24, 52, 120
 Радіорезистентність – 70, 120
 Радіосенсибілізація - 80
 Радіостимуляція - 33

Радіочутливість – 28, 90, 91 120
Рентген – 120
Рентгенівське випромінювання – 120
Репарація – 120
Рідкі радіоактивні відходи – 121
Розсіяне випромінювання – 121

С

Сила дози – 121
Соматичні ефекти радіації – 50, 121
Соматичний канцерогенез – 49, 73, 121
Синдром радіаційного ураження – 68, 69, 121
Стала розпаду – 121
Стинтиляція - 13
Стохастичні ефекти – 32, 121

Т

Тверді радіоактивні відходи – 121
Тератогенна дія радіації – 121
Толерантність – 51, 121
РЕК - 13
Трек – 121

Ф

Фероцинові болюси - 121

Х

Характеристичне випромінювання – 20, 121

Ш

Шар повного поглинання – 39, 122
Штучна радіоактивність – 25

Щ

Щільність забруднення ґрунту – 122

Додатки

Додаток А

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

Радіонуклід	Період піврозпаду	ДН Бк/рік	ДК Бк/м ³
⁸⁶ Rb (Рубідій)	18,66 доби	$6 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^3$
⁹⁰ Sr (Стронцій)	29,12 року	$3 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^1$
⁹⁶ Zr (Цирконій)	63,98 доби	$7 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^2$
¹⁰⁶ Ru (Рутеній)	368,2 доби	$7 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^1$
¹³¹ I (Йод)	8,04 доби	$4 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^2$
¹³⁴ Cs (Цезій)	2,06 року	$2 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^2$
¹³⁷ Cs (Цезій)	30 років	$1 \cdot 10^5$	$6 \cdot 10^1$
¹⁴⁰ Ba (Барій)	12,74 доби	$8 \cdot 10^5$	$4 \cdot 10^2$
¹⁴⁴ Ce (Церій)	284,3 доби	$9 \cdot 10^4$	$4 \cdot 10^1$
²³⁹ Pu (Плутоній)	24065 років	$6 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-2}$
²⁴¹ Am (Америцій)	432,2 роки	$7 \cdot 10^1$	$3 \cdot 10^{-2}$

Додаток Б

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

Радіонуклід	Період напіврозпаду	ДНд Бк/рік	ДНт Бк/рік	ДКп Бк/м ³	ДКв Бк/м ³
⁸⁶ Rb	18,66 доби	$4 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^4$	$3 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^5$
⁹⁰ Sr	29,12 року	$6 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^4$
⁹⁶ Zr	63,98 доби	$6 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^5$	4	$5 \cdot 10^5$
¹⁰⁶ Ru	368,2 доби	$9 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^1$	$5 \cdot 10^4$
¹³¹ I	8,04 доби	$8 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	4	$2 \cdot 10^4$
¹³⁴ Cs	2,06 року	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$	1	$7 \cdot 10^4$
¹³⁷ Cs	30 років	$2 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^4$	$8 \cdot 10^1$	$1 \cdot 10^5$
¹⁴⁰ Ba	12,74 доби	$7 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^4$	5	$1 \cdot 10^5$
¹⁴⁴ Ce	284,3 доби	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^4$	$6 \cdot 10^1$	$7 \cdot 10^4$
²³⁹ Pu	24065 років	2	$2 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$
²⁴¹ Am	432,2 роки	2	$3 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^3$

Додаток В

Допустимі рівні загального радіоактивного забруднення робочих поверхонь, шкіри (протягом робочої зміни), спецодягу та засобів індивідуального захисту, част/хв/см³

Об'єкт забруднення	α - активні нукліди		β-активні нукліди**
	окремі*	інші	
Непошкоджена шкіра, спецбілизна, рушники, внутрішня поверхня лицьових частин засобів індивідуального захисту	1	1	100**
Основний спецодяг, внутрішня поверхня додаткових засобів індивідуального захисту	5	20	800
Поверхні приміщень постійного перебування персоналу, зовнішня поверхня спецвзуття	5	20	2000
Поверхні приміщень періодичного перебування персоналу	50	200	8000
Зовнішня поверхня додаткових засобів індивідуального захисту, що знімаються у саншлюзах	50	200	10000

* До окремих належать α-випромінюючі радіонукліди, допустима концентрація яких у повітрі робочих приміщень менша 0,3 Бк/м³.

** Допустимі рівні забруднення шкіри, спецодягу, внутрішньої поверхні лицьових частин засобів індивідуального захисту для ізотопів ⁹⁰Sr + ⁹⁰Y, ¹⁴⁴Ce + ¹⁴⁴Pr, ¹⁰⁶Ru + ¹⁰⁶Rh встановлюються в 5 разів меншими, тобто 20 част/хв/см².

Додаток Г

Хімічні елементи

Номер п/п	Назва	Символ	Назва латнською мовою
1	актиній	Ac	Actinium
2	срібло	Ag	Argentum
3	алюміній	Al	Aluminium
4	америцій	Am	Americium
5	аргон	Ar	Argon
6	миш'як	As	Arsenicum
7	астатин	At	Astatine
8	золото	Au	Aurum
9	бор	B	Borum
10	барій	Ba	Berium
11	берилій	Be	Beryllium
12	вісмут	Bi	Bismuthum
13	беркелій	Bk	Berkelium
14	бром	Br	Bromum
15	вуглець	C	Carboneum
16	кальцій	Ca	Calcium
17	кадмій	Cd	Cadmium
18	церій	Ce	Cerium
19	каліфорній	Cf	Californium
20	хлор	Cl	Chlorum
21	к'юрій	Cm	Curium
22	кобальт	Co	Cobaltum
23	кассіопей	Cp	Cassiopeium
24	хром	Cr	Chromium
25	цезій	Cs	Cesium
26	мідь	Cu	Cuprum
27	дейтерій	D	Deuterium
28	диспрозій	Dy	Dysprosium
29	ербій	Er	Erbium
30	європій	Eu	Europium
31	фтор	F	Fluorum
32	залізо	Fe	Ferrum
33	францій	Fr	Francium
34	галлій	Ga	Gallium
35	гадоліній	Gd	Gadolinium
36	германій	Ge	Germanium
37	водень	H	Hydrogenium
38	гелій	He	Helium
39	гафній	Hf	Hafnium

40	ртуть	Hg	Hydrargyrum
41	гольмій	Ho	Holmium
42	індій	In	Indium
43	іридій	Ir	Iridium
44	йод	J	Jodum
45	калій	K	Kalium
46	криптон	Kr	Krypton
47	лантан	La	Lanthanum
48	літій	Li	Lithium
49	лютецій	Lu	Lutetium
50	магній	Mg	Magnesium
51	марганець	Mn	Manganum
52	молібден	Mo	Molybdaenum
53	азот	N	Nitrogenium
54	натрій	Na	Natrium
55	ніобій	Nb	Niobum
56	неодим	Nd	Neodymium
57	неон	Ne	Neon
58	нікель	Ni	Niccolum
59	нептуній	Np	Neptunium
60	кісень	O	Oxygenium
61	осьмій	Os	Osmium
62	фосфор	P	Phosphorum
63	протактиній	Pa	Protactinium
64	свинець	Pb	Plumbum
65	паладій	Pd	Palladium
66	прометей	Pm	Promethium
67	полоній	Po	Polonium
68	празеодим	Pr	Praseodymium
69	платина	Pt	Platinum
70	плутоній	Pu	Plutonium
71	радій	Ra	Radium
72	рубідій	Rb	Rubidium
73	реній	Re	Rhenium
74	родій	Rh	Rhodium
75	родон	Rn	Radon
76	рутеній	Ru	Ruthenium
77	сірка	S	Sulfum
78	сурма	Sb	Stibium
79	скандій	Sc	Scandium
80	селен	Se	Selenium
81	кремній	Si	Silicium
82	самарій	Sm	Samarium

83	олово	Sn	Stannum
84	стронцій	Sr	Strontium
85	тритій	T	Tritium
86	тантал	Ta	Tantalum
87	тербій	Tb	Terbium
88	технецій	Tc	Technetium
91	теллур	Te	Tellurium
92	торій	Th	Thorium
93	титан	Ti	Titanium
94	таллій	Tl	Thalium
95	тулій	Tu	Thulium
96	уран	U	Uranium
97	ванадій	V	Vanadium
98	вольфрам	W	Wolfram
99	ксенон	Xe	Xenon
100	іттрій	Y	Yttrium
101	ітербій	Yb	Ytterbium
102	цинк	Zn	Zincum
103	цирконій	Zr	zirconium

Додаток Д

Періоди напіврозпаду, років

Азот 0,5 року; тритій – 12,35; вуглець-14 – 5730; залізо-55 – 2,7; кобальт-60 – 5,27; криптон-85 – 10,3; стронцій-90 – 29,12; йод-129 – $1,57 \times 10^7$; йод-131 – 8,04 діб; цезій-135 – 30; свинець-210 – 22,3; радій-226 – 1600; уран-238 – $4,47 \times 10^9$; плутоній-239 – $2,4 \times 10^4$ років; плутоній-242 6537 років.

Додаток Е

Найбільш визначні фундатори радіології та радіобіології

Пулюй Іван Павлович (1845 – 1918)

Бекерель Анрі (1852 – 1908)

П'єр Кюрі (1858 – 1906)

Марія Складовська-Кюрі (1867 – 1934)

Рентген В.К. (1845 –1923)
Надсон Г.А. (1867 – 1940)
Зіверт Рольф (1896-1966)
Жоліо-Кюрі Ірен (1897 – 1956)
Жоліо-Кюрі Федерік (1900 – 1958)
Планк Макс (1858-1947)
Вильсон Чарлз Томсон Риз (1969-1959)
Комптон Артур Холи (1892-1962)
Гейер Ганс Вильсон (1882-1945)
Пильчиков Микола Дмитрович (у січні 1896 року одержав рентгенограми з допомогою трубки І.П. Пулюя)
Тимофєєв-Ресовський М.В. (1900 – 1981)
Гамов Григорій Антонович (1904-1968)
Грей Луїс Гарольд (1905-1965)
Кузін А.М. (1906 – 1999)
Гродзинський Д.М. (нар.1929)
Гудков І.М. (нар. 1940)

Додаток І

Назви префіксів та їх позначення:

екса (E), пета (P), тара (T). Гігі (G), мега (M), кіло (k), гекто (h), дека (da), деци (d), санти (с), мілі (m), мікро (mk), нано (n), піка (p), фемто (f), атто (a).

Л і т е р а т у р а

1. Абанян А.А. Информация об аварии на Чернобыльской АЭС и ее последствиях, подготовленная для МАГАТЭ Атомэнергия / А.А. Абанян, В.Г. Асманов, А.К. Гуськова – М. : Атомиздат, 1986. Т. 61, вып. 3.
2. Авотин Ю. П. Практикум по радиоактивности / Ю.П. Авотин – М. : Высшая школа, 1974. – 134 с.
3. Акоев И.Г. и др. Количественные закономерности радиационного синдрома / И.Г. Акоев – М. : Энергоатомиздат, 1981.
4. Алексахин Р.М. Сельскохозяйственная радиэкология / Р.М. Алексахин, А.В. Васильев, В.Г. Дикарев – М. : Колос, 1992. – 400 с.
5. Анненков Б.Н. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.Н. Анненков, Е.В. Юдинцева – М. : Агропромиздат, 1991. – 287 с.
6. Атаманюк В.Г. Гражданская оборона / В.Г. Атаманюк, Л.Г. Ширшев, Н.И. Акимов – М. : Высшая школа. 1987.
7. Бак З. Основы радиобиологии / З. Бак, Г. Александер – М. : Изд-во иностранной литературы, 1986.
8. Барабай В.А. От Хиросимы до Чернобыля / В.А. Барабай – К. : Наукова думка, 1991.- 128 с.
9. Барабай В.А. Популярная радиобиология / В.А. Барабай – К. : Наукова думка, 1988. – 190 с.
10. Барабай В.А. Ядерные излучения в биологии / В.А. Барабай, А.К. Киричинский – К. : Наукова думка, 1963. – 132 с.
11. Басенко А. Радіація і сільське господарство / А. Басенко // Сільський час. – 2004. -№ 10 (489). –13 лютого. – С.4-6.
12. Белов А.Д. Практикум по ветеринарной радиобиологии / А.Д. Белов, А.С. Косенко, В.В. Пак. Н.П. Лысенко, Л.В. Рогожина – М. : Агропромиздат, 1988. – 240 с.
13. Белов А.Д. Радиобиология / А.Д. Белов, В.А. Киршин – М. : Колос, 1999. – 384 с.
14. Белозеров Я.Е. Внимание ! Радиационное заражение / Я.Е. Белозеров, Ю.К.Несытов, – М. : Военное издательство, 1982. – 96 с.
15. Бесядовский Р.А. Справочное руководство для радиобиологов / Р.А. Бесядовский – М. : Агропромиздат, 1978. – 128 с.
16. Былий М.У. Атомна фізика / М.У. Былий – К. : Вища школа, 1973. -- 231 с
- 17.Бронштейн М.П. Атом и электроны / М.П. Бронштейн. (Серия: Библиотечка «Квант») --М. : Наука, 1980.
18. Бударков В.А. Радиобиологический справочник / В.А. Бударков, В.А. Киршин, А.У. Антоненко – Минск : Урожай, 1992. – 336 с.
19. Бутомо Н.В. Основы медицинской радиобиологии / Н.В. Бутомо. А.Н. Гребенюк – С.-Пб. : Фолиант, 2004. – 384 с.
20. Валенчик М.М. Радиобиологический эффект и окружающая среда / М.М. Валенчик – М. : Энергоатомиздат, 1983.

21. Владимірова В.Г. Радиозащитные эффекты у животных и человека / В.Г. Владимірова, Т.К. Джаранян – М. : Высшая школа, 1980. – 228 с.
22. Влох О.Г. Аксіоми для нащадків (Українські імена у світовій науці) / О.Г. Влох, Р.П. Гайда, Р.М. Пляцко – Львів : Меморіал, 1992. – С. 183-207.
23. Войцицький В.М. Радіобіологія / В.М. Войцицький. – К. : Вища школа, 1990, - 255 с.
24. Волков Г.Д. Радиобиология /учебник для ветеринарных факультетов / Г.Д. Волков – М. : Колос, 1964. – 231 с.
25. Гайченко В.А. Радіобіологія (Програма навчальної дисципліни для підготовки бакалаврів б. 090102 «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва») / В.А. Гайченко, І.М. Гудков, М.М. Лазарев, М.П. Терещенко, Ю.І. Савченко, М.О. Самаріна. – К. : Аграрна освіта, 2009. – 14 с.
26. Гейл Р. Останнє попередження. Спадщина Чорнобиля: / Р.Гейл, Т. Гаузер -- К. : 1989. – 56 с.
27. Глобальные выпадения продуктов ядерных взрывов как фактор облучения человека [под ред. А.М. Морей]. – М. : Атомиздат, 1980.
28. Гофман Джон Чернобыльская авария: радиационные последствия для настоящего и будущих поколений / Джон Гофман – Минск : Высшая школа, 1994. – 574 с.
29. Григор'єва Л.І. Іонізуюче випромінювання та його вплив на людину. / Л.І. Григорєва, Ю.А. Томілі, І.М. Рожков. – Миколаїв : МДГУ ім.. Петра Могили, 2008. – 208 с.
30. Гринин А.С. Радиоиммунологический анализ / А.С. Гринин. С.С. Рыбаков – М. : Энергоатомиздат, 1984. – 36 с.
31. Гродзинский Д.М. Радиобиология и биологическое действие ионизирующих излучений / Д.М. Гродзинский – М. : Агропромиздат, 1966. – 232 с.
32. Гродзинський Д.М. Радіобіологія / Д.М. Гродзинський – К. : Либідь, 2001. – 448 с.
33. Гудков Ігор Миколайович – К. : Аграрна наука, 2005. – 151 с.
34. Гудков И.Н. Основы общей и сельскохозяйственной радиобиологии / И.Н. Гудков – К. : УСХА, 1991. – 326 с.
35. Гудков И.Н. Практикум по сельськохозяйственной радиобиологии / И.Н. Гудков, Г.М. Ткаченко, В.Е. Кицно – К. : УСХА, 1992. – 208 с.
36. Гудков І.М. Сільськогосподарська радіобіологія / І.М. Гудков, М.М. Віннічук – Житомир : ЖДАУ, 2003. - 472 с.
37. Давиденко В.М. Заповідна справа (навчальний посібник) / В.М. Давиденко – Миколаїв : МФ НаУКМА, 2002. – 138 с.
38. Давиденко В.М. Радіобіологія: [навчальний посібник] /В.М. Давиденко. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – 241 с.
39. Давиденко В.М. Радіобіологія: [навчальний посібник] /В.М. Давиденко. – Миколаїв : МДАУ, 2005. – 184 с.

40. Давиденко В.М. Радиобіологія (словник понятійних термінів) / В.М. Давиденко – Миколаїв : МДАУ, 2007. – 50 с.
41. Давиденко В.М. Радиобіологія: словник понятійних термінів / В.М. Давиденко – Миколаїв : МДАУ, 2006. – 29 с.
42. Давиденко В.М. Радіаційна безпека та концепція ведення сільського господарства на забруднених територіях: [методичні рекомендації] / В.М. Давиденко, С.П. Кот, О.П. Тофан. – Миколаїв : МДАУ, 2008. – 57 с.
43. Давиденко Н.М. Актуальные вопросы геоэкологии / Н.М. Давиденко – М. : ГЕОС, 2003. – 427 с.
44. Давиденко Н.М. Актуальные вопросы геоэкологии (учебное пособие) / Н.М. Давиденко – Ухта : Мин.образования РФ, РАН, 2003. – 514 с.
45. Давиденко В.М. Радиобіологія (навчальний посібник) / В.М. Давиденко – Миколаїв : МДАУ, 2010. – 229 с.
46. Желібо Є. Безпека життєдіяльності / Є. Жалібо, Н. Заверуха, В. Зацарний – К. : 2001. – 320 с.
47. Жизнеспособность клеток, облученных в малых дозах (Под ред. Т.Альпера). – М. : Атомиздат, 1980. – 132 с.
48. Жук І. Діти і радіація / І. Жук – К. : Веселка, 1993. – 23 с.
49. Журавлев В.Ф. Токсикология радиоактивных веществ / В.Ф. Журавлев – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 211 с.
50. Захлинюк М.С. Радіаційна ситуація на Чернігівщині в постчорнобильський період. У зб. Наукових праць «Фальцфейнівські читання 2009 / М.С. Захлинюк – Херсон : Херсонський державний університет, 2009. С. 123-127.
51. Зуєва Н. Рентгенографія в племінному конярстві / Н. Зуєва, Й. Сірацький // Тваринництво України. – 2009. - № 2. – С. 18-20.
52. Ильин А.В. Репортаж из Чернобиля. Записки очевидцев. Комментарии. Размышления: / А.В. Ильин, А.Е. Промников - М. : 1987. – 112 с.
53. Ильин М.И. Закономерности поведения ^{90}Sr и ^{137}Cs Чернобыльских выпадений в почвенно-растительном покрове кормовых угодий Полесья Украины / М.И. Ильин // Проблемы сельскохозяйственной радиобиологии. – Киев : 1996. – Вып. 4. – С. 159 - 169.
54. Ильченко А.И. Концентрирование живыми радионуклидами и их влияние на популяцию / А.И. Ильченко – М. : Наука, 1974. – 168 с.
55. Капітула О. Радіація і сільське господарство / О. Капітула // Сільський час. – 2004. - № 19 (498). – 17 березня. – С. 4-5.
56. Карташов П.А. Лучевая болезнь сельскохозяйственных животных / П.А. Карташов – М. : Колос, 1978. – 98 с.
57. Кирилов В.Ф. Радиационная гигиена / В.Ф. Кирилов, В.А. Книжников, И.П. Куренков – М. : Медицина, 1988. – 336 с.
58. Кічно В.О. Основи радіобіології та радіоекології. Навчальний посібник / В.О. Кічно, С.В. Поліщук, І.М. Гудков – К. : Хай-Тек Прес, 2007. – 320 с.
59. Киршин В.А. Ветеринарная радиобиология / В.А. Киршин, А.Д. Белов, В.А. Бударков – М. : Агропромиздат, 1986. – 176 с.

60. Климатические и биологические последствия ядерной войны /отв. Ред. Е.П. Велехов. – М. : Наука. 1987. – 288 с.
61. Клименко Л.П. Техноекологія / Л.П. Клименко – Миколаїв : МФ НаУКМА, 2000. – 304 с.
62. Ковальський І.М. Радіаційна медицина / І.М. Ковальський – К : Здоров'я, 1993. – 217 с.
63. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности / В.Ф. Козлов – М. : Энергопром, 1987. – 192 с.
64. Коновалов В.С. Вроджені вади свійських тварин внаслідок аварії на ЧАЕС / В.С. Коновалов // - Тваринництво України. – 2007. - № 2. – С. 17-18.
65. Коноплянников А.Г. Радиобиология стволовых клеток / А.Г. Коноплянников – М. : Мир, 1984. – 194 с.
66. Корогодін В.И. Проблемы пострадиационного восстановления / В.И. Корогодін – М. : Атомиздат, 1964. – 233 с.
- 67.Краснов В.П. Наукові основи використання продукції лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення лісів / В.П. Краснов – К. : НАУ, 2000. – 37 с.
68. Круглов В.Т. Биологическое действие и кинетика накопления стронция в организме крупного рогатого скота / В.Т. Круглов // - Ветеринария. –1969. - № 12.
69. Кузин А.М. Стимулирующее действие ионизирующего излучения на биологические процессы. – М. : Атомиздат, 1977. – 250 с.
70. Кутлахмедов Ю.О. Основи радіоекології / Ю.О. Кудлахметов, В.І. Корогодін, В.К. Кольтовер – К. : Вища школа, 2003. – 320 с.
- 71.Краснов В.П. Наукові основи використання продукції лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення лісів/ В.П. Краснов: Автореф. Дис.д-ра с.-г. наук: 06.03.03 / НАУ. – К. : 2000. –37 с.
72. Кюри Е. Мария Кюри / Е. Кюри – М. : Атомиздат, 1980. – 320 с.
73. Ландау Л.Д. Теоретическая физика. Т. 111. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. / Л.Д. Ландау, Е.М. Лившиц – М. : Наука, 1974. – 147 с.
74. Ландау-Тылкина С.П. Радиация и жизнь / С.П. Ландау-Тылкина – М. : Атомиздат, 1974. – 168 с.
75. Ландау-Тылкина С.П. Радиоактивные загрязнения и их измерение / С.П. Ландау-Тылкина – М. : Наука, 1989. – 130 с
76. Лапін В.М. Безпека життєдіяльності людини. – К.: Знання, 2000. – 116 с.
77. Ли Д. Действие радиации на живые организмы / Д. Ли – М. : Госатомиздат, 1963. – 278 с.
78. Льенко А.И. Концентрирование животными радиоизотопов и их влияние на популяцию / А.И. Льенко – М. : Наука, 1974. – 168 с.
79. Леонтьева О. Применение лазерной технологии при производстве говядины // О. Леонтьева, Н. Севостьянова // Молочное и мясное скотоводство – 2003. – № 8. – С.18-20.

80. Максимов М.Т. Радиоактивное загрязнение и его измерение: Учебное пособие. –2-е изд. Перераб. и дополненное / М.Т. Максимов, Г.О. Оджагов – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 204 с.
81. Мащенко Н.Г. Радиационное излучение и радиационная защита населения при ядерных авариях на АЭС / Н.Г. Мащенко, В.А. Мурашко – К. : Высшая школа, 1993.
82. Никберг И.И. Ионизирующая радиация и здоровье человека / И.И. Никберг – К. : Здоровье, 1989. – 160 с.
83. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). – К.: МОЗ, 1997. – 121 с.
84. Оловянишников Н.П. Гражданская оборона / Н.П. Оловянишников – М. : Высшая школа, 1978. – 95 с.
– 70 с.
85. Основні санітарні правила протирадіаційного захисту України (ОСПУ-2001). – К.: МОЗ, 2001. – 136 с.
86. Петров Н.Н. Человек в чрезвычайных ситуациях / Н.Н. Петров – Челябинск: Южно-Уральское книж. изд., 1995.
87. Пристер Б.С. Основы сельскохозяйственной радиологии / Б.С. Пристер, Н.А. Лощинов, О.Ф. Немец, В.А. Поярков – К. : Урожай, 1991. – 472 с.
88. Радиация. Дозы, эффекты, риск (перевод с английского). – М.: Мир, 1990. – С. 201-206.
89. Разанов С. Порошкоподібний підмор бджіл у годівлі птиці// Тваринництво України / С. Разнов – 2006. - № 2. – С. 25-27.
90. Раєцька Я.Б. Роль антиоксидантів при злоякісному рості та опроміненні біологічних об'єктів / Я.Б. Раєнька, Л.І. Остапенко, О.П. Гаділія // Вісник національної академії наук України. – 2008. -- № 7. – С.30-34.
91. Рекомендации по ведению сельского и лесного хозяйства в условиях радиационного загрязнения территории Украины в результате аварии на Чернобыльской АЭС на период 1991-1995 годы. Под ред. Б.С. Пристера, Н.А. Лощилова, П.С. Пастернака. – К. : 1991. – 112 с.
92. Романенко В.А. Экономическая оценка воздействия гидротехнического строительства на водных объектах / В.А. Романенко – К. : Наукова думка, 1990. – 256 с.
93. Руденко Л.І. Міграція радіонуклідів з об'єкта “Укриття” / Л.І. Руденко, В.Є. Хан, В.П. Кухар. // Вісник національної академії наук України. –2008. - № 4. – С. 10-23.
94. Савчук І.М. Концентрація Cs^{137} та солей важких металів у яловичині при використанні в раціоні відгодівельних бугайців сечовини і макухи соняшникової / І.М. Савчук, М.С. Пелехатий – Львів : Науковий вісник ЛНАВМ ім. С.З. Гжицького, 2005. – т. 7(№ 2), частина 5. – С. 98-103.
95. Самин Д.К. Сто великих научных открытий / Д.К. Самин – М. : Vere, 2005. – 150-154, 183-187.

96. Соболев И.А. Охрана окружающей среды при обезвреживании радиоактивных отходов / И.А.Соболев, И.П. Коренков – М. : Энергоатомиздат, 1989. –166
97. Смоляр В.И. Ионизирующая радиация и питание. – К : Здоров'я, 1992. – 174 с.
98. Стейс Р. Основы биологической и медицинской физики (перевод с английского) / Р. Стейс, Д. Уильямс, Р. Уорден, Р. Мак-Маррис – М. : Изд. иностран. лит., 1959. – 608 с.
99. Тиунов Л.А. Противолучевые средства / Л.А. Тиунов, Г.А. Васильев, В.П. Парибок – Москва-Ленинград : Изд-во АН СССР, 1961. – 172 с.
100. Ткаченко Г.М. Основи радіаційної безпеки та протирадіаційного захисту при роботі з джерелами іонізуючих випромінень (методичні вказівки) / Г.М. Ткаченко, М.М. Лазарев, В.О. Кічно – К. : НАУ, 2005. – 52 с.
101. Томілін Ю.А. Радіоактивне забруднення риби з промислу в Дніпро-Бузьком лімані / Ю.А. Томілін, ВюМю Давиденко //Тези доповідей обласної наукової практичної конференції “Перспективні напрями розвитку АП Причорноморського регіону”, 24-26 квітня 1996 р.року. – Миколаїв : МСГІ, 1996. С. 70-71.
102. Томілін Ю.А. Розмір забруднення “Чорнобильским” стронцієм-90 сільськогосподарської продукції господарств Інгульської зрошувальної системи. Тези доповідей обласної науково-практичної конференції // Ю.А. Томілін. В.М. Давиденко, В.Т. Цуканов “Перспективні напрями розвитку АПК Причорноморського регіону”, 24-26 квітня 1996 р.року. – Миколаїв : МСГІ, 1996. – С. 71.
103. Тюпина Г. Лазер при лечении телят в Якутии// Г. Тюпина Молочное и мясное скотоводство. – 2003. - № 8. – С. 34 - 35.
104. Філон В.І. Використання рентгенівської комп'ютерної томографії для діагностики агрофізичного стану чорноземів// В.І. Філон - Вісник аграрної науки. –2004. - № 1, - С. 19-21.
105. Фокин А.Д., Сельскохозяйственная радиология / А.Д. Фокин, А.А. Лурье, С.П. Торшин – М. : Дрофа, 2005. – 368 с.
106. Шевченко В.А., Генетические последствия ионизирующего излучения / В.А. Шевченко, М.Д. Померанцева – М. : Наука, 1985. – 279 с.
107. Шеннон С. Питание в атомном веке. Как уберечь себя от малых доз радиации / С. Шеннон – Минск : Беларусь, 1991. – 302 с.
108. Шехтер В.М. Атом и квантовая механика / В.М. Шехтер, А.А. Ансельм. – М. : Знание, 1980.
109. Ядерная энергетика, человек и окружающая сфера [Н.С. Бабаев и др.]. – М. : Военное издательство, 1977. – 165 с.
110. Ядерное оружие – М.: Военное издательство, 1987. – 168 с.
111. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко – М. : Высшая школа, 1988. – 424 с.

112. Ярмоненко С.П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоленко – М. : Высшая школа, 1983. -130 с.
113. Ярмоненко С.П. Укрощение строптивой: Радиобиология людям / С.П. Ярмоленко – М. : Знание, 1981. - 96 с.
114. Ярмоненко С.П., Радиобиология человека и животных./ С.П. Ярмоленко, А.А. Вайнсон – М. : Высшая школа, 2004. – 549 с.
115. Goudkov S. V., Radiobiology and Radioecology / S.V. Goudkov, M.M. Vinichouk - K. :
NAU, 2006. – 295 p.