

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ІНФЕКЦІЙНОЇ ПАТОЛОГІЇ, БІОБЕЗПЕКИ ТА
ВЕТЕРИНАРНО-САНІТАРНОГО ІНСПЕКТУВАННЯ ІМЕНІ ПРОФЕСОРА
В.Я.АТАМАСЯ**

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ ОСВІТНЬОГО КОМПОНЕНТА
«ВЕТЕРИНАРНА РАДІОБІОЛОГІЯ»
(назва освітнього компонента)

Для підготовки здобувачів другого (магістерського) рівня
вищої освіти

1 курс (I семестр)

Спеціальність: 211 «ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»
Освітня програма: «ВЕТЕРИНАРНА МЕДИЦИНА»

Розробник: к.вет.н. Скрипка Г.А.

Конспект розглянуто та схвалено на засіданні кафедри інфекційної патології, біобезпеки та ветеринарно-санітарного інспектування імені професора В.Я.Атамася

Протокол №2 від «12» вересня 2025р.

ОДЕСА - 2025

ЛЕКЦІЯ №1
Тема лекції: РАДІОБІОЛОГІЯ ЯК НАУКА (2 год.)

План лекції:

1. Визначення радіобіології, її місце серед суміжних наук.
2. Напрями розвитку радіобіології та її задачі.
3. Історія радіобіології.
4. Етапи розвитку радіобіології.
5. Сучасні проблеми радіобіології.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

Вступ

Життя на нашій планеті під час свого розвитку зазнавало безліч несприятливих умов. Це перепади температур, атмосферні опади, рух повітря, урагани, зміна дня і ночі тощо. Серед них особливе місце займає **іонізуюча радіація**, джерелом якої є природні радіоактивні ізотопи різних хімічних елементів і космічне випромінювання. Вона утворює на Землі так званий природний радіаційний фон. Природний радіаційний фон впродовж 18-20 ст. поступово зростав і, на теперішній час, ця тенденція зберігається. Причинами цього вища можна вважати прогресуючу індустріалізацію. А саме:

1. Добування металевих руд, вугілля, нафти та інші корисні копалини (мінерали, які містять і природні радіоактивні елементи та радіоактивні ізотопи елементів, які не вважаються радіоактивними)
2. Будівельні матеріали
3. Сировина для виробництва мінеральних добрив
4. Спалювання джерел енергії (вугілля, нафта, горючі сланці) - в атмосферу потрапляє велика кількість природних радіоактивних ізотопів.

У середині 20-го століття почали створюватися штучні радіоактивні ізотопи і джерела іонізуючих випромінювань. Також зростанню природного радіаційного фону сприяло створення атомних бомб у США та розвиток атомної енергетики. Саме через це у навколишнє середовище може потрапляти велика кількість природних і штучних радіоактивних ізотопів, що призводить до появи окремих осередків і великих територій із високим рівнем радіоактивності.

Все це спонукало створенню нової науки, яка б змогла пояснити як надходять і поширюються радіоактивні речовини в біосфері, якими шляхами вони переходять в рослини та організм тварин і людини, як діє іонізуюча радіація природних та штучних ізотопів на живі організми, як можна захистити їх від надходження радіоактивних речовин і дії їхніх випромінювань – *ці та інші суміжні питання вивчає галузь біології, яка дістала назву... радіобіологія.*

1. Визначення радіобіології, її місце серед суміжних наук.

РАДІОБІОЛОГІЯ, або радіаційна біологія, – (від латинського *radius* - промінь, *bio* – життя, *logos* – наука) це наука, яка вивчає дію іонізуючих випромінювань на живі організми та їх угруповання. А також вишукує способи і засоби їх захисту та шляхи використання випромінювання в народному господарстві.

Також є нове визначення: РАДІОБІОЛОГІЯ – це наука про дію іонізуючих випромінювань на живі системи всіх рівнів організації. Останнє формулювання не є альтернативним першому, не суперечить йому, але його доповнює. Обидва вони правильні.

Основним **об'єктом** досліджень радіобіології є живі організми, а також сукупності організмів різних систематичних груп, що являють собою екологічну єдність.

Радіобіологія пов'язана з безліччю інших наук: генетикою, біологією, біохімією, ядерною фізикою, цитологією, біофізикою, фізіологією, медициною тощо.

Предметом радіобіології є: вивчення закономірностей відповіді біологічних об'єктів на радіаційний вплив, на основі яких можна оволодіти мистецтвом управління променевими реакціями організму. Також предметом вивчення радіобіології стали також макромолекули, окремі структури

клітини, самі клітини і їхні популяції, культури тканин і органів, окремі процеси метаболізму, окремі метаболіти.

2. Напрями розвитку радіобіології та її задачі

Сучасна радіобіологія являє собою комплексну міждисциплінарну область біологічної науки, що має чітко виділені окремі напрями. Основними з них є такі:

- ✓ медична радіобіологія, що включає протирадіаційний захист і терапію,
- ✓ радіаційну гігієну,
- ✓ радіаційну імунологію і радіобіологію пухлин;
- ✓ радіаційна екологія,
- ✓ радіаційна генетика,
- ✓ сільськогосподарська радіобіологія,
- ✓ радіаційна цитологія,
- ✓ радіаційна біохімія,
- ✓ радіаційна біофізика,
- ✓ космічна радіобіологія і деякі інші

Виділяють окремі напрями радіобіології:



Задача радіобіології: вивчення закономірностей біологічної дії іонізуючої радіації на живий організм з метою оволодіння керуванням його реакціями на опромінення.

3. Історія радіобіології

Радіобіологію прийнято вважати молодого наукою. У 2023 р. Радіобіологія відзначила своє 128-ліття.

Три відкриття в галузі фізики, що передували виникненню радіобіології

Своїм народженням радіобіологія зобов'язана трьом великим відкриттям в галузі фізики, зробленим в останні роки 19-го сторіччя:

1. Відкриттю в 1895 р. Німецьким фізиком В.К. Рентгеном Х-променів, названих згодом його ім'ям; (Німеччина)
2. Відкриттю в 1896 р. Французьким фізиком А.А. Беккерелем природної радіоактивності
3. Відкриттю в 1897–1898 рр., також французькими фізиками, М. Склодовською-Кюрі і П. Кюрі нових радіоактивних елементів полонію і радію.

Всі ці вчені отримали Нобелівську премію з фізики. Відкрити нові промені Рентгену допомі випадок...

Окрім того на формування нової науки вплинуло багато інших дослідників. Видатніші з них наведені нижче:

Е. Резерфорд, П. Війяр, І. Тарханов, Г. Джиллман і фізик Е. Груббе, Ю. Лондон, Г.Г. Де-метц, Г. Петерс, М. Кернике, Ж. Бергоньє і Л. Трибондо та багато інших.

Формулювання закону Трибондо і Бергоньє

ПРАВИЛО (ЗАКОН) БЕРГОНЬЄ - ТРИБОНДО - правило в радіобіології, яке в первісній формулюванні стверджувало, що клітини то чутливіші до опромінення, чим швидше вони розмножуються, чим триваліше у них фаза мітозу і чим менше вони диференційовані.

Сформульовано в 1906 році Жаном Бергоньє і Луї Трибондо. Пізніше в правило були внесені істотні корективи.

На підставі своїх спостережень вони швидко прийшли до висновку, що пухлинні клітини більш чутливі до опромінення, ніж більшість клітин організму. Це не завжди вірно - при гіпоксії ракові клітини стають менш чутливими до іонізуючого випромінювання. Це пояснюється тим, що посередниками між випромінюванням і пошкодженням клітин виступають активні форми кисню і вільні радикали.

4. Етапи розвитку радіобіології

Розвиток радіобіології налічує три етапи.

I етап: (1895–1920) можна вважати. У цей час нагромадилася безліч фактів про дію рентгенівських випромінювань і випромінювань радіоактивних елементів на різні біологічні об'єкти. Ці дослідження носили в основному описовий характер.

II етап: 1920–1930-і рр. Був відкритий так званий «Кисневий ефект», установили мутагенну дію іонізуючої радіації, її здатності впливати на спадковий апарат організму. У 1930-і рр. Виникла теорія непрямой дії радіації. Другий етап розвитку радіобіології (1920–1945) в цілому завершився до початку Другої світової війни.

III етап: друга світова війна дала могутній поштовх розвитку ядерної фізики й атомної енергетики. У 1940–1945-і рр. були створені і використані атомні бомби, пізніше у деяких країнах проведені численні випробування ядерної зброї в атмосфері і, як наслідок, виникла реальна небезпека масового радіаційного ураження людей і біосфери в цілому. Саме в ці роки радіобіологія остаточно формується як самостійна область науки. Були знайдені фармакологічні засоби захисту організму від випромінювань, створювалися радіобіологічні лабораторії, інститути.

IV етап: 26 квітня 1986 р. завершився третій і почався четвертий етап розвитку радіобіології який триває дотепер.

5. Сучасні проблеми радіобіології

Головні проблеми радіобіології на сучасному четвертому етапі такі:

- Особливості дії на живі організми малих доз іонізуючої радіації;
- Специфіка дії на живі організми хронічного опромінення;
- Профілактика і терапія гострих і хронічних радіаційних уражень;
- Радіаційне порушення імунітету;
- Віддалені наслідки опромінення;
- Спільна дія на організм іонізуючих випромінювань та інших факторів;
- Міграція штучних радіоактивних речовин у компонентах біоценозу;
- Особливості дії на живі організми випромінювань інкорпорованих радіоактивних речовин;
- Мінімізація надходження і нагромадження радіоактивних речовин у рослинах, організмі тварин і людини;
- Виведення радіоактивних речовин з організму людини.

ЛЕКЦІЯ №2

**Тема лекції: ДЖЕРЕЛА ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ НА ЗЕМЛІ.
(2 год.)**

План лекції:

1. Космічне випромінювання.
2. Випромінювання радіонуклідів: випромінювання природних радіонуклідів; випромінювання штучних радіонуклідів.
3. Радіаційні аварії.
4. Генератори іонізуючих випромінювань.
5. Внесок різних джерел іонізуючих випромінювань у формування дози опромінення людини.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.

2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

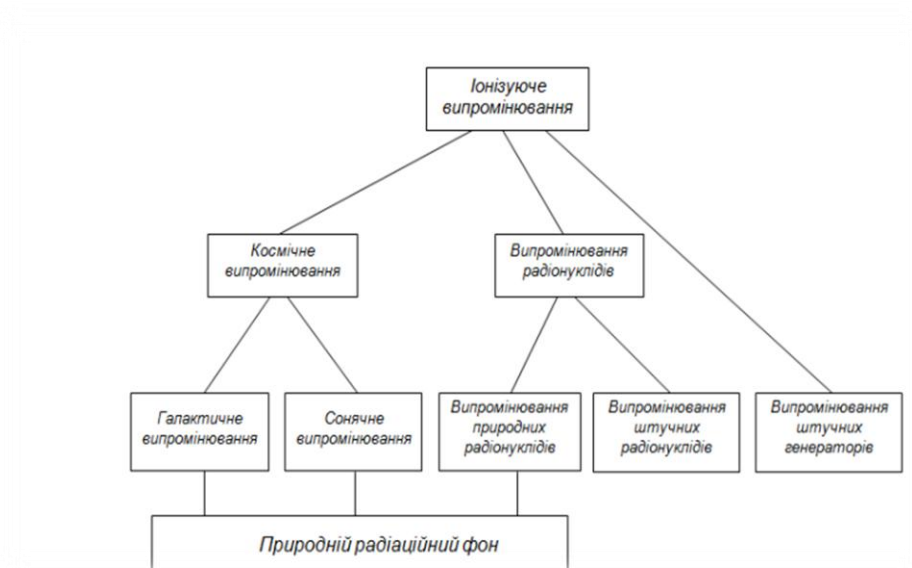
Зміст лекції:

1.Космічне випромінювання

Іонізуючі випромінювання не є незвичайним чи новим фактором на Землі. Все живе й неживе в усі епохи розвитку та існування нашої планети піддавалось їх дії. Розрізняють два основних джерела іонізуючих випромінювань – **космічне випромінювання та випромінювання радіонуклідів**. Космічне випромінювання складається з галактичного та сонячного. Випромінювання радіонуклідів включає випромінювання природних радіонуклідів та штучних радіонуклідів. Космічне випромінювання та випромінювання природних радіонуклідів утворюють на Землі так званий **природний радіаційний фон**. Виділяють також випромінювання штучних генераторів іонізуючої радіації.

Космічне випромінювання складається з галактичного та сонячного, первинного та вторинного.

Первинне космічне випромінювання являє собою потік частинок високих енергій, що надходять на Землю з міжзоряного простору. Воно складається переважно з протонів та α -частинок.

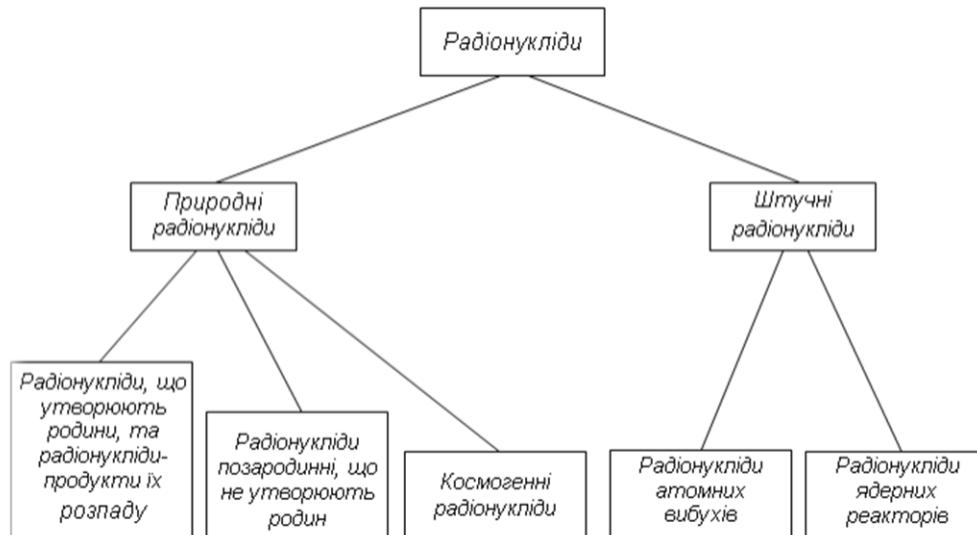


Основна частка первинного космічного випромінювання виникає у межах нашої Галактики внаслідок ядерних і термоядерних процесів, що супроводжують виверження та випаровування матерії при зоряних вибухах та виникненні наднових зірок. Це випромінювання називається галактичним. При сонячних спалахах виникає сонячне випромінювання.

Вторинне космічне випромінювання виникає внаслідок взаємодії високо енергетичного первинного з ядрами нуклідів, що входять до складу атмосфери. Воно складається практично з усіх відомих на теперішній час елементарних частинок – протонів, електронів, нейтронів, фотонів, піонів, мюонів, мезонів тощо.

2.Випромінювання радіонуклідів: випромінювання природних радіонуклідів; випромінювання штучних радіонуклідів.

Всі існуючі радіонукліди ділять на два класи – природні радіонукліди і штучні радіонукліди. Основним джерелом надходження природних радіонуклідів в біосферу є земна кора. Значна частка може надходити з водою і певна частка – з атмосфери.



Відомі також 1880 *штучних радіонуклідів*, які утворюються в умовах штучних ядерних реакцій поділу і розпаду деяких елементів, а також одержують при бомбардуванні нерадіоактивних елементів потоком високо енергетичних частинок. Джерелами надходження штучних радіонуклідів в біосферу є атомні вибухи і ядерні реактори. Переважна більшість цих елементів є короткоживучими і внесок у дозу опромінення об'єктів біосфери формують практично декілька десятків радіонуклідів.

В земних породах, рудах, ґрунтах, водах і, відповідно, живих організмах – рослинах, тваринах та інших об'єктах навколишнього середовища виділяють ***первинні та космогенні радіонукліди***. В первинних у свою чергу виділяють дві категорії радіонуклідів: ***радіонукліди, що утворюють родини*** та ***радіонукліди-продукти їх розпаду***, і ***радіонукліди позародинні – що не утворюють родин***.

Радіонукліди, що утворюють родини, та радіонукліди-продукти їх розпаду - до них у першу чергу належать радіонукліди трьох ізотопів: ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th .

Радіонукліди позародинні, або такі, що не утворюють родин - до них у першу чергу відносяться ізотопи ^{40}K , ^{48}Ca , ^{86}Rb , ^{96}Zr , ^{138}La , ^{147}Sm , ^{176}Lu , ^{14}C .

Космогенні радіонукліди виникають в основному в атмосфері Землі при *взаємодії високо енергетичного космічного випромінювання з ядрами водню, літію, берилію, вуглецю, азоту, кисню, натрію, алюмінію, фосфору, хлору, аргону та деяких інших відносно легких елементів*. Під впливом сил гравітації та атмосферних опадів вони надходять на поверхню планети. До них відносять ізотопи ^3H , ^{10}Be , ^{14}C , ^{22}Na , ^{26}Al , ^{32}P , ^{36}Cl .

Вміст природних радіонуклідів у земній корі і, відповідно, воді варіює у дуже широких межах, що визначається, головним чином, їх вмістом у земних породах.

Природні джерела іонізуючих випромінювань утворюють на Землі відносно постійне радіаційне поле. Це і є так званий **природний**

радіаційний фон – рівень іонізуючого випромінювання на поверхні Землі, у приземному шарі атмосфери та інших об'єктах навколишнього середовища, який формується за рахунок космічного випромінювання та випромінювання природних радіонуклідів. В основному він варіює в межах від **0,05 до 0,15 мкЗв/год.**, складаючи у середньому **0,1 мкЗв/год.**, тобто приблизно **10 мкР/год.**

3.Радіаційні аварії

Величезна кількість радіоактивних ізотопів виникає при вибухах атомних бомб, котрих, починаючи з 1945 р., у світі було здійснено понад **2400**.

Атомна бомба – це один з видів зброї вибухової дії з зарядом надзвичайно великої руйнівної сили, в основі якого лежить саморозвиваюча ланцюгова реакція поділу урану ^{235}U або ^{239}Pu . Цей процес супроводжується виділенням величезної кількості енергії.

Ланцюгова ядерна реакція на Землі можлива тільки в штучних умовах. Вибух атомної бомби одночасно супроводжується:

- ✓ дією дуже потужної повітряної хвилі,
- ✓ надзвичайно інтенсивного світлового випромінювання, яке супроводжується виділенням величезних кількостей тепла
- ✓ та іонізуючого випромінювання з наступним випадінням радіоактивних речовин.

Під час ядерної реакції поділу виникає декілька сотень різних радіоактивних ізотопів. В основному це атоми з масовими числами ядер в інтервалах 89–106 і 129–144. Серед них виділяють три групи штучних радіонуклідів.

✓ I група: ^{89}Sr і ^{90}Sr , ^{95}Nb , ^{95}Zr , ^{103}Ru і ^{106}Ru , ^{129}I і ^{131}I , ^{134}Cs і ^{137}Cs , ^{140}Ba , ^{140}La , ^{141}Ce і ^{144}Ce .

✓ II група: ^{54}Mn , ^{55}Fe и ^{59}Fe , ^{60}Co , ^{65}Zn

✓ III група: ^{237}Np , $^{238-241}\text{Pu}$, ^{241}Am і ^{243}Am , $^{242-244}\text{Cm}$, вони характеризуються високою радіотоксичністю і великими періодами піврозпадів.

У радіоактивних випадіннях основне місце займають довгоживучі ізотопи ^{90}Sr і ^{137}Cs з періодами піврозпадів, відповідно, 29 і 30 років, а також трансуранові елементи.

За сімдесятирічний період розвитку атомної енергетики на таких підприємствах відбулося за різними оцінками від 250 до 400 радіаційних аварій, які супроводжувались викидами радіоактивних речовин в біосферу.

- ✓ 12 грудня 1952 р. Канада (штат Онтаріо) на АЕС «Чолк-Рівер».
- ✓ 29 вересня 1957 р. у м. Киштим Челябінська область (СРСР);
- ✓ 7 жовтня 1957 р. на АЕС «Віндскейл» (Велика Британія);

- ✓ АЕС «Три-Майл-Айленд» у штаті Пенсільванія 24 березня 1979 р. (США);
- ✓ аварія на Чорнобильській АЕС 26 квітня 1986 р. (СРСР)
- ✓ аварія на АЕС «Фукусима-1» 11 березня 2011 р. (Японія).

4. Генератори іонізуючих випромінювань

Певна частка у надходженні радіонуклідів у навколишнє середовище належить підприємствам ядерної енергетики. Їх робота передбачає добування уранової руди, її переробку у збагачене ^{235}U ядерне паливо, виготовлення тепловиділяючих елементів (твелів), одержання енергії в ядерних реакторах, переробку відпрацьованого палива для наступного використання, регенерацію і, нарешті, утилізацію та захоронення радіоактивних відходів. Ці операції складають так званий **ядерний паливний цикл** (ЯПЦ). На всіх етапах цього циклу можливе надходження радіоактивних речовин у навколишнє середовище.

Ядерний реактор – це пристрій для здійснення керованої ядерної ланцюгової реакції поділу

5. Внесок різних джерел іонізуючих випромінювань у формування дози опромінення людини

Усе живе і не живе на Землі піддається дії іонізуючих випромінювань різних природних та штучних джерел. Але дози, котрі можуть викликати помітні фізичні та хімічні зміни в останніх у тисячі і десятки тисяч разів вищі за рівні радіаційного фону і тому можливим їх впливом у даному випадку можна знехтувати. У живих же організмів навіть за рівнів потужностей доз природного радіаційного фону можна припускати прояв певних реакцій і наслідків дії випромінювань. В умовах же підвищеного радіаційного фону імовірність прояву уражень значно зростає.

Основним джерелом опромінення залишається природний радіаційний фон. На теперішній час середня доза опромінення від нього для населення земної кулі прийнята рівною 2,2 мЗв/рік. Хоча, безперечно, в різних регіонах планети вона варіює досить в широких межах. Дози опромінення від штучних джерел залишаються суттєво меншими. Зростаюче виробництво електроенергії за рахунок атомної енергетики, безперечно, призводить до постійного зростання опромінення населення за рахунок цього джерела. Опромінення людини і біоти в цілому можуть набувати помітні масштаби тільки у випадку великих аварій на підприємствах ядерної енергетики.

ЛЕКЦІЯ №3
Тема лекції: ФІЗИЧНІ ОСНОВИ РАДІОБІОЛОГІЇ (2 год.)

План лекції:

1. Будова атома.
2. Ізотопи.
3. Явище радіоактивності.
4. Закон радіоактивного розпаду.
5. Типи ядерних перетворень.
6. Типи іонізуючих випромінювань.
7. Електромагнітне іонізуюче випромінювання. Корпускулярне іонізуюче випромінювання.
8. Радіометрія і дозиметрія іонізуючих випромінювань.
9. Одиниці радіоактивності та доз.
10. Зв'язок між радіоактивністю та дозою іонізуючого випромінювання.
11. Види опромінення.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

Вступ

На живі та неживі об'єкти навколишнього середовища постійно діє велика кількість *різноманітних чинників фізичної природи, в тому числі і випромінювань – видиме світло, ультрафіолетове, інфрачервоне, магнітні поля, радіохвилі різних діапазонів. Діє і іонізуюча радіація*

природних радіоактивних елементів та ізотопів і та, що надходить з космосу від сонця та зірок галактики. Взаємодія іонізуючих випромінювань з **речовиною** призводить до **ІОНІЗАЦІЇ** її атомів та молекул – *перетворенню їх з електрично-нейтральних частинок у **позитивно та негативно заряджені іони**.* Іонізований стан атомів та молекул триває зовсім **недовго**, після чого іони знову перетворюються у **нейтральні частинки**. Але перехід до іонізованого стану супроводжується виникненням величезної кількості **вторинних високо енергетичних частинок**, здатних, як і іонізуюче випромінювання, **ГЛИБОКО ПРОНИКАТИ У РЕЧОВИНУ І НАНОСИТИ УРАЖЕННЯ**.

1. Будова атома

Атом – найменша частинка хімічного елементу, котра зберігає його властивості. Атом складається з позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, які обертаються по орбітах навколо нього.

Атом складається з часток: **електронів, протонів, нейтронів**, що у вільному стані характеризуються такими фізичними величинами як: **маса, електричний заряд (або його відсутність), і усталеність(або стабільність)**. Електрони і протони стійкі. Нейтрони стабільні тільки в складі ядра. Маса ядер і елементарних часток виражається в атомних одиницях маси.

ЯДРО складається з **протонів і нейтронів** (загальна назва часток - нуклони).

2. Ізотопи

ІЗОТОПИ - різновиди атомів (і ядер) одного хімічного елементу, що мають різний вміст нейтронів у ядрі (кількість протонів однакова).

В даний час описано біля 300 стабільних і 1500 радіоактивних ізотопів. 71 із 90 хімічних елементів являють собою суміш із 2-10 ізотопів.

Існують атоми із стійкими – **стабільними і нестійкими** – радіоактивними ядрами.

Радіоактивний ізотоп, або радіоізотоп, – *це нестійкий ізотоп, що розпадається*.

Радіоактивний елемент – *це хімічний елемент, всі ізотопи якого радіоактивні*.

Радіоактивна речовина – *це речовина, до складу якої входить радіоактивний ізотоп*.

Нукліди – це загальна назва атомів, що відрізняються кількістю нуклонів у ядрі або при однаковій кількості нуклонів містять різну кількість протонів чи нейтронів.

Радіонуклід, або радіоактивний нуклід, – це нестійкий, такий, що розпадається, нуклід. В принципі поняття „радіонуклід” близьке поняттю „радіоізотоп”.

ІЗОТОНИ – атоми різних елементів, ядра яких мають однакову кількість нейтронів.

Елементи з однаковою масою ядра але різним зарядом (число протонів) – називаються **ІЗОБАРАМИ**.

Атоми елемента з однаковим масовим числом, але ядра яких знаходяться в різному енергетичному стані, називаються - **ІЗОМЕРАМИ**. Вони володіють різним періодом напіврозпаду (T). енергією і видом.

3. Явище радіоактивності

Нуклони утримуються в ядрі за рахунок **ядерних сил**, природа яких вивчена поки що недостатньо. Вони у тисячі разів сильніші за електромагнітні і діють на невеликих відстанях, що не перевищують діаметру ядра. Атомні ядра більшості ізотопів природних елементів **стабільні**. Ця стабільність зумовлена балансом протонів і нейтронів у ядрі. Чим далі від початку (водню) розташовується елемент у періодичній системі, тобто чим більшу масу він має, тим більша у ньому кількість **нейтронів** і в самих важких приблизно у **1,6** разів більша за кількість протонів. Саме вони — **нестабільні**. Припускається, що вони знаходяться ще у стані формування. Цей процес складається зі всіляких **ядерних перетворень**, що супроводжуються виділенням ядерних іонізуючих випромінювань.

Тобто, є стабільні ізотопи (ядра не розпадаються), а є нестабільні – їх ядра самовільно розпадаються.

Нестабільні ізотопи називаються радіоактивними, а випромінювання, яке вони виділяють при розпаді – радіоактивним випромінюванням.

Радіоактивністю називають самовільне перетворення атомних ядер одних елементів в ядра інших елементів, що супроводжується **виділенням енергії у вигляді іонізуючого випромінювання.**

Коли пропорція нуклонів зміщена – атоми намагаються стабілізувати характерне співвідношення шляхом **різних типів радіоактивного розпаду.**

ЯДЕРНІ ПЕРЕТВОРЕННЯ – це перехід ядер атомів з одного стану в інший з меншою енергією, котрий супроводжується випусканням високо енергетичних частинок і (або) гамма(γ)-квантів.

При поглинанні ядром атому енергії ззовні стабільний ізотоп може перетворюватись в **радіоактивний** і при наступному розпаді також виділяти елементарні частинки і кванти.

Саме тому поряд з **природною радіоактивністю виділяють штучну радіоактивність.**

Природними випромінювачами називаються все радіоактивні ізотопи, які у природі і не створені людиною.

Штучні радіоактивні ізотопи виходять у результаті різних ядерних реакцій шляхом штучного перетворення одних хімічних елементів на інші шляхом дії на атомні ядра.

Таким чином, радіоактивність – це мимовільне або штучне перетворення атомних ядер нестійкого ізотопу хімічного елементу з основного стану в інший ізотоп цього або іншого елемента, котре супроводжується виділенням енергії шляхом випускання елементарних частинок, гамма-квантів або ядер.

4. Закон радіоактивного розпаду.

Ядерний процес, в результаті якого ядро радіоактивного нукліду перетворюється на ядро нукліда іншого хімічного елемента.

Найбільш поширеними є: α - і β -розпад.

Закон радіоактивного розпаду стверджує, що за одиницю часу розпадається однакова частка ядер від тих, що є в наявності.

Період піврозпаду – це час, протягом якого кількість атомів радіоактивного ізотопу зменшується удвічі. Період піврозпаду позначається індексами $T_{1/2}$ або $T_{0,5}$. Для різних радіоактивних ізотопів $T_{0,5}$ складають від часток секунди до мільярдів років.

Періоди піврозпаду ($T_{0,5}$) деяких радіоактивних ізотопів

Вид піврозпаду	Одиниці часу	Приклад	$T_{0,5}$
Короткоживучі	Мікросекунди	^{212}Po , ^{218}Rn	0,3; 35
	Секунди	^{211}Po , ^{219}Rn	0,5; 3,96
	Хвилини	^{81}Sr , ^{128}Cs	25,5; 3,9
	Години	^{92}Sr , ^{127}Cs	2,7; 6,25
	Доби	^{132}Cs , ^{131}I	6,5; 8,04
Середньоживучі	Тижні	^{82}Sr , ^{136}Cs	3,57; 1,87
	Місяці	^{85}Sr , ^{144}Ce	2,16; 9,5
	Роки	^{134}Cs	2,06
Довгоживучі	Десятки років	^{90}Sr , ^{137}Cs	29; 30
	Сотні років	^{141}Am	4,3
	Тисячі років	^{239}Pu	24
Надовгоживучі	Сотні тисяч років	^{234}U	2,45
	Мільйони років	^{236}U	23
	Мільярди років	^{40}K , ^{238}U	1,28; 4,47

5. Типи ядерних перетворень

Первинним джерелом випромінювань є ядра атомів, а не їх електронні оболонки. Це цілком очевидно для α -(альфа-) випромінювання, нейтронного, протонного випромінювань, але не є зовсім зрозумілим для β -(бета-)випромінювання, яке є потоком електронів, котрі не входять до складу ядра.

Але вони виникають у ядрі у процесі його розпаду при перетворення нейтронів у протони. І α - і β -розпади супроводжуються випромінюванням γ -квантів.

Саме тому іонізуючі випромінювання ще називають ядерним випромінюванням. Основними типами ядерних перетворень, або радіоактивного розпаду, є:

1. **α -розпад,**
2. **β -розпад (електронний та позитронний)**
3. **електронне захоплення**
4. **внутрішня конверсія**

6. Типи іонізуючих випромінювань

Іонізуючі випромінювання усіх природних і штучних джерел діляться на два типи: електромагнітне та корпускулярне. ІВ-випромінювання, взаємодія якого з речовиною призводить до утворення в цій речовині **іонів різного знака**. Іон-атом, що володіє електричним зарядом. Процес перетворення атома на позитивний чи негативний іон називається **іонізацією**.

7. Електромагнітне іонізуюче випромінювання. Корпускулярне іонізуюче випромінювання

Електромагнітне, або фотонне, іонізуюче випромінювання являє собою потік періодичних електричних та магнітних коливань, котрі відрізняються від радіохвиль, інфрачервоного, видимого та ультрафіолетового світла більш короткою довжиною хвилі і, відповідно, більш високою енергією, котрі знаходяться між собою у оберненій залежності. До них належать найбільш використовувані у радіобіологічних дослідженнях і практиці рентгенівське випромінювання та γ -випромінювання природних і штучних радіоактивних **ізоотопів**.

Рентгенівське (X-) випромінювання – це електромагнітне випромінювання, що займає спектральну область між γ - та ультрафіолетовим (УФ-)випромінюванням у діапазоні довжин хвиль від 10^{-11} до 10^{-7} м.

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

Корпускулярне іонізуюче випромінювання являє собою потік частинок (корпускул), які характеризуються на відміну від електромагнітного випромінювання не тільки енергією, але ще масою та електричним зарядом, про які вже згадувалося на початку розділу.

В залежності від останніх двох властивостей частинки діляться на легкі і важкі, заряджені (позитивно чи негативно) і нейтральні.

8. Радіометрія і дозиметрія іонізуючих випромінювань

Радіометрія – це сукупність прийомів і методів визначення активності і концентрації радіоактивних ізотопів, а також типів їх випромінювань у джерелах іонізуючої радіації і пробах об'єктів навколишнього середовища.

Головним завданням радіометрії є кількісна оцінка радіоактивності зразка, тобто визначення числа радіоактивних перетворень атомів, чи атомних розпадів, за одиницю часу. Виділяють *питому, або об'ємну, і поверхневу радіоактивність*.

Питома радіоактивність – це вміст радіоактивних ізотопів в одиниці маси чи об'єму речовини.

Поверхнева радіоактивність – вміст радіоактивних ізотопів на певній площі поверхні.

У системі СІ одиницею радіоактивності є бекерель (українське позначення Бк, міжнародне – Bq).

Відповідно, питома радіоактивність оцінюється у Бк/кг, Бк/л, а поверхнева – в Бк/м² чи інших еквівалентних одиницях – Бк/см², кБк/м² і т.д.

Позасистемною одиницею радіоактивності, яка ще широко використовувалась до останнього десятиліття і нерідко згадується і у теперішній час, є кюрі (Ки, Ci).

Радіоактивна речовина або матеріал, що містить її, створює навколо себе певне поле радіоактивності, яке формує дозу опромінення різних об'єктів, в тому числі і живих організмів.

Дозиметрія – це оцінка інтенсивності полів іонізуючих випромінювань в об'єктах навколишнього середовища, що утворюються джерелами радіоактивності.

Основним завданням дозиметрії в радіобіології є визначення величини дози іонізуючого випромінювання у середовищі і в живому організмі, що утворюється внаслідок його взаємодії з речовинами тканин за певний час як при зовнішній дії, коли джерело радіоактивності знаходиться поза організмом, так і при внутрішньому, коли радіоактивна речовина надходить всередину організму.

Слід відрізняти енергію іонізуючого випромінювання, що падає на об'єкт, від енергії, що ним поглинається і саме викликає фізичну дію.

Тому в радіобіології, як і у ядерній фізиці, виділяють експозиційну, або фізичну, дозу (Dx) і поглинуту дозу (Dp).

Експозиційна доза – це рівень іонізації, який формується у повітрі на певній відстані від джерела радіоактивності.

Поглинута доза - це сумарна кількість енергії іонізуючого випромінювання, котра поглинається об'єктом опромінення.

Еквівалентна доза – це доза опромінення живого організму змішаним потоком або невідомим типом іонізуючих випромінювань, котра за своєю

біологічною ефективною дорівнюється до дії поглинутої дози стандартного рентгенівського або γ випромінювання.

9. Одиниці радіоактивності та доз

Одиниці радіоактивності і доз іонізуючих випромінювань.

Одиниці	Найменування одиниці		Співвідношення між одиницями
	позасистемні	у системі СІ	
Радіоактивність	кюри (Ки)	бекерель (Бк)	1 Ки = $3,7 \times 10^{10}$ Бк 1 Бк = $2,7 \times 10^{-11}$ Ки
Експозиційна доза	рентген (Р)	кулон на кілограм (Кл/кг)	1 Р = $2,58 \times 10^{-4}$ Кл/кг 1 Кл/кг = 3876 Р
Поглинена доза	рад	грей (Гр)	1 рад = 0,01 Гр 1 Гр = 100 рад
Еквівалентна доза	бер	зіверт (Зв)	1 бер = 0,01 Зв 1 Зв = 100 бер

10. Зв'язок між радіоактивністю та дозою іонізуючого випромінювання.

Одиниці радіоактивності і одиниці доз іонізуючих випромінювань є різними фізичними величинами. Вони зв'язані між собою, так як саме радіоактивність речовини зумовлює на різних відстанях від неї певні дозові поля. У радіометрії існує свого роду еталон такого зв'язку чи залежності: у стандартних умовах (0°C, 760 мм рт. ст.) ізотоп ^{226}Ra радіоактивністю 1 Ки формує протягом 1 години на відстані 1 м експозиційну дозу у 1 Р. Відповідно, існує чітка залежність між експозиційною дозою та радіоактивністю джерела випромінювання.

Саме ця залежність дозволяє в певних ситуаціях використовувати дозиметри-рентгенометри для оцінювання радіоактивного забруднення різних об'єктів.

Існує певний зв'язок між рівнем радіаційного гамма-фону, тобто потужністю експозиційної дози у середовищі, та щільністю радіонуклідного забруднення поверхні ґрунту.

11. Види опромінення

В залежності від потужності дози розрізняють два основних види опромінення – **гостре і пролонговане**.

Під гострим опроміненням розуміють короточасне опромінення протягом секунд, хвилин, максимум – декількох годин, коли організм за рахунок великої потужності дози (десятки, сотні грей за хвилину, годину) може отримати велику дозу.

Під пролонгованим опроміненням – тривале опромінення протягом багатьох годин, діб, тижнів, місяців за низькій потужності дози (частки грей за годину, добу).

Розрізняють також **одноразове і багаторазове (фракціоноване)** опромінення.

ЛЕКЦІЯ №4

Тема лекції: ФІЗИЧНІ ТА ХІМІЧНІ ОСНОВИ ВЗАЄМОДІЇ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ ІЗ РЕЧОВИНАМИ КЛІТИН ЖИВИХ ОРГАНІЗМІВ (2 год.)

План лекції:

1. Взаємодія електромагнітних випромінювань із речовиною.
2. Взаємодія корпускулярних випромінювань з речовиною.
3. Лінійна передача енергії іонізуючих випромінювань атомам і молекулам речовини та їх відносна біологічна ефективність.
4. Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань.
5. Дія іонізуючого випромінювання на основні молекулярні компоненти клітини і процеси метаболізму.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

Вступ

Проникна здатність іонізуючих випромінювань, тобто **ГЛИБИНА** їх проникнення у речовину, залежить від їх фізико-хімічних характеристик, а також **СКЛАДУ І ЩІЛЬНОСТІ РЕЧОВИНИ, ЩО ОПРОМІНЮЄТЬСЯ**.

Вона мінімальна у матеріалах, які мають високу щільність, подібних до *бетону, сталі, свинцю*, котрі звичайно і застосовують для фізичного захисту від випромінювань, й **МАКСИМАЛЬНА** у *повітрі та інших газових середовищах*.

Проникаючи у речовину, іонізуючі випромінювання вступають у взаємодію з його атомами та молекулами. При цьому основна частка енергії витрачається на іонізацію атомів та збудження їх електронів, перетворюючись у кінетичну енергію вторинних електронів оболонки атомів.

Коли іонізуюче випромінювання діє на речовину, відбувається взаємодія між радіоактивною частинкою та електронами та ядрами речовини. Тип взаємодії та її ефект залежить як від типу випромінювання (α , β , γ , рентген), але й від енергії частки.

Така взаємодія може бути представлена у вигляді зіткнення з електронами, розташованими навколо ядер атома речовини, в результаті якого енергія випромінювання повністю або частково передана електронам речовини. Залежно від кількості енергії електрон може перейти у більш високий енергетичний стан (збудження) або втратити атомний зв'язок (іонізація). *Саме через цю здатність утворювати іони термін іонізуюче випромінювання отримав свою назву.*

1. Взаємодія електромагнітних випромінювань із речовиною

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ВИПРОМІНЮВАННЯ проникають у речовину, в тому числі і у живу тканину, **ДУЖЕ ГЛИБОКО**. В радіобіології існує поняття **ЛІНІЙНОГО КОЕФІЦІЄНТУ ПОСЛАБЛЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**. Його величина прямо пропорційна щільності та обернено пропорційна енергії випромінювання. Тому, знаючи ці показники, його можна розрахувати.

Основні процеси, що відбуваються при взаємодії електромагнітних іонізуючих випромінювань з речовиною, – це:

фотоелектричний
ефект (фотоефект)
комптон-ефект
(комптонівське розсіяння, ефект комптона)
та утворення пар електрон-позитрон

2. Взаємодія корпускулярних випромінювань з речовиною

Механізм взаємодії усіх типів заряджених корпускулярних частинок з речовиною подібний – при проходженні через неї вони втрачають свою енергію на **ІОНІЗАЦІЮ І ЗБУДЖЕННЯ АТОМІВ**.

В залежності від знаку заряду частинки зазнають **електростатичної взаємодії** з частинками речовини і можуть **змінювати** напрямок руху. *Проникаюча здатність заряджених частинок значно менша за кванти електромагнітних випромінювань.*

Вона визначається їх ЕНЕРГІЄЮ, а також залежить від МАСИ і наявності ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ.

α -частинки (ядро атома гелія) проникають у м'які тканини живого організму лише на глибину **30–100 мкм**.

Бета-частинки, які мають малі розміри, проникають приблизно в тканини на глибину від **6-8 до 12 мм**.

3. Лінійна передача енергії іонізуючих випромінювань атомам і молекулам речовини та їх відносна біологічна ефективність

Віддавання енергії іонізуючих випромінювань по всій довжині пробігу частинки чи фотону називається **ЛІНІЙНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ЕНЕРГІЇ (ЛПЕ)**. Ця величина грає визначальну роль у *прояву радіобіологічних реакцій організму за рівних доз опромінення різними типами випромінювань.*

Для порівняння біологічної дії різних типів іонізуючих випромінювань введена спеціальна величина – **ВІДНОСНА БІОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ (ВБЕ) ВИПРОМІНЮВАНЬ**.

Величина **ВБЕ** визначається головним чином значенням **ЛПЕ** – *чим вище ЛПЕ, тобто чим більшим є середня кількість іонізацій на одиницю пробігу у речовині, тим вище і ВБЕ.*

4. Пряма і непряма дія іонізуючих випромінювань

В основі *первинних радіаційно-хімічних перетворень* молекул лежать два механізми дії іонізуючих випромінювань: **ПРЯМИЙ І НЕПРЯМИЙ, АБО ОПОСЕРЕДКОВАНИЙ**.

Стадії дії іонізуючих випромінювань

Фізична	поглинання енергії випромінювання; утворення збуджених та іонізованих атомів та молекул	10^{-16} – 10^{-15} с
----------------	--	--

Фізико-хімічна	Перерозподіл поглинутої енергії всередині молекул і між ними, утворення вільних радикалів	10^{-14} – 10^{-11} с
Хімічна	Реакції між вільними радикалами та інтактними молекулами. Утворення молекул із зміненими структурою та функціями	10^{-6} – 10^{-3} с
Біологічна	Розвиток поразки всіх рівнів біологічної організації: від субклітинного до органного.	Секунди – роки

ПІД ПРЯМОЮ ДІЄЮ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ розуміють зміни, які виникають в молекулі чи певній структурі внаслідок поглинання енергії та іонізації у ній самій.

НЕПРЯМА ДІЯ ВИПРОМІНЮВАННЯ – така, при якій молекула чи структура отримує енергію при взаємодії з іншою молекулою або продуктами, що виникають внаслідок прямої дії.

Обидва механізми передбачають існування певного біологічно важливого елемента – **МІШЕНІ**, ураження якого може призвести до *ураження клітини*.

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

Під впливом іонізуючої радіації в організмі порушується низка біосинтетичних процесів, внаслідок чого змінюється характер обміну речовин.

Реакції і перетворення таких сполук, як ДНК, РНК, білки, амінокислоти, вуглеводи, ліпіди грають найбільш важливу роль в реалізації ураження живих організмів при опроміненні.

Дія випромінювання на нуклеїнові кислоти

Під впливом опромінення відбувається:

1. порушення веретена поділу,
2. спостерігаються розриви хромосом і порушення їх розходження, які в наступному отримали назву хромосомних аберацій.
3. виникають двоядерні і багатоядерні клітини.

Важливим типом радіаційного ураження структури ДНК є розриви водневих зв'язків між ланцюгами у подвійній спіралі, котрі можуть призводити до:

- ✓ часткової її денатурації,
- ✓ ураженню основ та їх відщепленню від молекули,

- ✓ утворенню внутрішньо молекулярних і міжмолекулярних зшивок,
- ✓ виникненню зшивок основ і зшивок ДНК-білок,
- ✓ руйнуванню основ,
- ✓ виникненню перекисів тиміну і цитозину,
- ✓ дезамінуванню,
- ✓ вивільненню основ та деяким іншим, і, зрештою, до зміни її фізико-хімічних властивостей і, відповідно, ПОРУШЕННЮ ФУНКЦІЙ.

Радіаційно-хімічні зміни білків, амінокислот і вуглеводнів

Ряд радіочутливості амінокислот по мірі її зниження виглядає так: *сірковмісні (цистеїн, метіонін), деякі циклічні (тирозин, триптофан, гистидін), такі, що містять азотовмісні групи (аргінін, аспарагін, глютамін), амінокислоти, що не містять в остатку приєднані групи або містять –ОН (фенілаланін, пролін, валін, лейцин, ізолейцин, гліцин, серин, треонин).*

При дії іонізуючої радіації на білки, як і на інші високомолекулярні сполуки, виникають такі **ПОРУШЕННЯ**:

- конфігураційні видозміни молекули, не зв'язані із зміною молекулярної маси, але такі, що призводять до змін фізико-хімічних і біологічних властивостей білка;
- утворення зшивок між молекулами, агрегація молекул, збільшення молекулярної маси;
- деструкція макромолекули з розривом пептидних або вуглеводних зв'язків, зменшення молекулярної маси;
- хімічні перетворення активних груп на поверхні та у глибині білкової молекули (глобули), у першу чергу окислювального або відновлювального характеру.

При дії іонізуючих випромінювань на **МОНОСАХАРИДИ** виникають як окислені, так і відновлені продукти, які містять або таку ж кількість атомів вуглецю, що і вихідна молекула, або її низьковуглеводні фрагменти, а також високомолекулярні продукти полімеризації.

При дії радіації на полісахариди спостерігаються складні зміни – порушення структури окремих мономерних одиниць, розриви глікозидних зв'язків. Розриви полімерних ланцюгів, що призводять до **деполімеризації**, є однією з основних реакцій на опромінення. *Це стає причиною зміни їх фізико-хімічних властивостей:*

- ✓ в'язкості,
- ✓ механічної пружності,
- ✓ набухання,
- ✓ розчинності,
- ✓ швидкості гідролізу.

Дія випромінювань на білково-ліпідні мембрани

При дії іонізуючого випромінювання у мембранах **ВИНИКАЮТЬ ОТВОРИ**, що призводить до порушень регульованого транспорту різних речовин і обмінних процесів в клітині. При великих дозах такі порушення можуть призвести до її загибелі.

ЛЕКЦІЯ №5

Тема лекції: БІОЛОГІЧНІ ЕФЕКТИ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ У РОСЛИН І ТВАРИН (2 год.)

План лекції:

1. Класифікація радіобіологічних ефектів.
2. Радіаційна стимуляція.
3. Морфологічні зміни.
4. Променева хвороба.
5. Прискорення старіння і скорочення тривалості життя.
6. Загибель.
7. Генетичні, або мутагенні, ефекти.
8. Близькі та віддалені, детерміновані та стохастичні ефекти.
9. Біологічні ефекти радіоміметиків.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

1. Класифікація радіобіологічних ефектів

Радіобіологічний ефект – це реакція живого організму на дію іонізуючого випромінювання, що характеризується зміною деяких його ознак та властивостей.

Звичайно виділяють два основних класи радіобіологічних ефектів:

- ✓ Соматичні ефекти
- ✓ Генетичні ефекти

До **соматичних** радіобіологічних ефектів належать зміни, які відбуваються в організмі протягом онтогенезу – періоду його індивідуального розвитку; до **генетичних** – пошкодження, що реалізуються в наступних поколіннях, тобто передаються нащадкам.

Серед соматичних ефектів розрізняють п'ять основних типів: **радіаційна стимуляція, морфологічні зміни, променева хвороба, прискорення старіння і скорочення тривалості життя та загибель.**

Генетичні, або мутагенні, ефекти утворюють самостійний клас.

В залежності від **часу прояву** після опромінення радіобіологічні ефекти поділяють на **близькі та віддалені**. До **близьких** відносять ті, які виявляються у перші часи (**години, доби, тижні, місяці**) після опромінення; **віддалені** наслідки реєструють в **більш пізні періоди**.

До близьких радіобіологічних ефектів відносять радіаційну стимуляцію, яка виявляється одразу ж після опромінення; більшість морфологічних змін в тканинах і окремих органах, що виникають протягом перших днів-тижнів післярадіаційного періоду; гостру променеву хворобу, що розвивається у рослин протягом перших тижнів, а у ссавців – 1–1,5 місяців; загибель після опромінення у дуже високих дозах.

Віддаленим радіобіологічним ефектом вважається прискорення старіння і скорочення тривалості життя, злоякісні новоутворення, променеві катаракти, нефросклероз. Ці ефекти проявляються, як правило, через роки після опромінення.

Радіобіологічні ефекти включають чотири основні стадії:

1. фізичні взаємодії,
2. фізико-хімічні взаємодії,
3. біологічні реакції,
4. Медичні ефекти.

2. Радіаційна стимуляція

Радіаційна стимуляція – це ефект прискорення проростання опроміненого рентгенівськими та гамма променями насіння, прискорення росту проростків за рахунок прискорення поділу клітин. Стимулюючу дію радіації за швидкістю росту рослин реєструють, як правило, тільки протягом перших 4–

6 днів. Ефект радіаційної стимуляції спостерігається не тільки при одноразовому опроміненні насінин або рослин, а й при хронічному, коли рослина опромінюється протягом всього вегетаційного періоду.

Радіаційна стимуляція тварин

Прискорення чи посилення під впливом опромінення таких функцій як ріст, розвиток, продуктивність. Особливо це явище відображається при опроміненні у стимулюючих дозах курячих яєць, курчат і курей.

Хронічне опромінення щурів при потужності дози 0,002 Гр/год веде до підвищення їх плодючості. Спостерігали також прискорення росту, збільшення абсолютної маси тіла і стимуляцію функції відтворення у мишей. Випромінювання (гамма) стимулює розвиток ембріонів прісноводних риб.

3. Морфологічні зміни

Морфологічні зміни – це зміни під впливом іонізуючого випромінювання зовнішнього вигляду організму, окремих його органів, анатомічної структури – ознак, що відрізняють його від батьківських форм. Перш за все відхилення від характерних ознак, властивих тому чи іншому виду, роду, породи, сорту. Але ознаки ці не спадкові, це – відхилення від норми, спотворення, які мають місце тільки в поколінні опромінених організмів.

При опроміненні тварин в стадії ембріогенезу або в ранньому постембріональному віці можуть спостерігатися порушення росту кісток, диспропорції в розвитку окремих органів, в цілому порушення росту і розвитку, що в кінцевому результаті приводить до виникнення різних спотворень. Опромінення дорослих особин може викликати появу виразок з подальшим утворенням на їх місці рубців, пігментацію і депігментацію шкіри та волосяного покриву, припинення росту і випадання останнього; припинення росту рогових утворень і їх відшарування, виникнення катаракт, що одержали назву променевих, зміни розмірів і форми окремих органів, різні ступені дистрофії, виникнення під впливом радіації пухлин на різних органах.

4. Променева хвороба

Променева хвороба - захворювання, що виникає в результаті впливу різних видів іонізуючих випромінювань і характеризується симптоматикою, яка залежить від виду вражаючого випромінювання, його дози, локалізації джерела випромінювання, розподілу дози в часі і тілі живої істоти. ПХ поділяється на гостру та хронічну.

Гостра променева хвороба (ГПХ) може бути спричинена впливом:

- ✓ зовнішнього рівномірного опромінення;
- ✓ зовнішнім рівномірним пролонгованим опроміненням;
- ✓ нерівномірним опроміненням.

Залежно від дози опромінення розвиваються різноманітні клінічні форми ГПХ.

- ✓ Кістково-мозкова - синдром ураження кісткового мозку (при дозі 100 ... 1000 рад);
- ✓ Кишкова – синдром ураження кишечника (при дозі 1000...2000 рад);
- ✓ Токсемічна – синдром ураження судинної системи (2000...8000 рад);
- ✓ Церебральний - синдром ураження центральної нервової системи (понад 8000 рад).

По тяжкості захворювання розрізняють чотири ступені ГПХ

- ✓ перший – легка променева хвороба, наприклад, у свиней виникає при дозах 1–2 Гр,
- ✓ другий – середньої тяжкості розвивається при дозах 2–4 Гр,
- ✓ третій – тяжка – при дозах 4–6 Гр
- ✓ четвертий – дуже тяжка, або надтяжка, спостерігається при дозах вищих за 6 Гр.

Періоди (фази) ГПХ:

- ✓ I – первинної реакції;
- ✓ II – прихований період (латентний, період уявного благополуччя);
- ✓ III – період розпалу;
- ✓ IV – період відновлення.

5. Прискорення старіння і скорочення тривалості життя

Цей радіобіологічний ефект є також універсальним для живих організмів найрізноманітніших систематичних груп. Існує пряма кількісна залежність між ступенем скорочення тривалості життя і дозою іонізуючого випромінювання. Прискорення старіння і скорочення тривалості життя не обов'язково повинні бути обов'язково пов'язаними явищами або наслідком один одного. Так, зменшення тривалості життя може бути наслідком променевої хвороби, індукції лейкозів, пухлин, зниження імунітету та інших уражень, але ні в якій мірі не зв'язане з механізмом справжнього старіння.

6. Загибель

За високих доз опромінення, коли видужування від променевої хвороби неможливе, настає загибель, або смерть, організму – припинення його життєдіяльності як відокремленої цілісної системи. Смерть теплокровних тварин, якими є більшість видів сільськогосподарських тварин, зумовлена перш за все припиненням дихання і кровообігу. Звичайно виділяють два основні етапи смерті, або навіть два види смерті, – клінічну і біологічну, або справжню. По закінченні періоду клінічної смерті, у котрий ще можливе повноцінне відновлення життєвих функцій, настає біологічна смерть –

необоротне припинення фізіологічних процесів практично в усіх клітинах і тканинах організму.

7. Генетичні, або мутагенні, ефекти

Генетичні, або мутагенні, ефекти – це набуті в результаті опромінення іонізуючою радіацією морфологічні зміни чи деякі ознаки і властивості, що відрізняють організм від батьківських форм, які проявляються у наступних поколіннях. Такі пошкодження особливо небезпечні і підступні, так як виникають випадково і можуть проявлятися аж до двадцятого покоління.

8. Близькі та віддалені, детерміновані та стохастичні ефекти

В залежності від часу прояву після опромінення радіобіологічні ефекти поділяють на близькі та віддалені. До близьких відносять ті, які виявляються у перші часи (години, доби, тижні, місяці) після опромінення; віддалені наслідки реєструють в більш пізні періоди. Виразити більш точно ці часи можливо тільки по відношенню до конкретного організму, так як час повинен розглядатися по відношенню до тривалості онтогенезу, котрий у одних організмів вимірюється днями, а у других – багатьма десятками років. Якщо ж їх оцінювати по відношенню до однорічних рослин, то близькі – це такі, що проявляються у перші години, дні, 1–2 тижні після одноразового опромінення, а віддалені – як правило, у другій половині, наприкінці онтогенезу, в наступних поколіннях, тобто через місяці, роки.

9. Біологічні ефекти радіоміметиків

Радіоміметики, або радіоміметичні речовини, – це хімічні сполуки, дія яких на клітини, органи, тканини і організм в цілому за багатьма показниками схожа до дії іонізуючих випромінювань.

ЛЕКЦІЯ №6
**Тема лекції: ПРОТИРАДІАЦІЙНИЙ ЗАХИСТ І
РАДІОСЕНСИБІЛІЗАЦІЯ (2 год.)**

План лекції:

1. Фізичні радіозахисні та радіосенсибілізуючі фактори.
2. Хімічні радіозахисні речовини та радіосенсибілізатори
3. Класифікація радіопротекторів та механізми їх дії.
4. Радіопротектори пролонгованої дії.
5. Радіоблокатори і радіодекорпоранти.
6. Радіосенсибілізатори.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали II міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

1. Фізичні радіозахисні та радіосенсибілізуючі фактори

Серед фізичних факторів, що визначають стан організму в момент його опромінення, виділяють декілька основних.

ГАЗОВЕ СЕРЕДОВИЩЕ. Зміна газового складу атмосфери, в якій перебуває організм при опроміненні, в значній мірі впливає на його радіочутливість. *Різні вчені встановили, що опромінення рослин в атмосфері вуглекислого газу підвищує їх радіостійкість.*

Механізм захисної дії гіпоксії пояснюється звичайно тим, що при опроміненні в присутності кисню в клітинах утворюються активні перекисні

вільні радикали та перекис водню, які посилюють дію випромінювань на життєво важливі макромолекули і структури.

Кількісним вираженням зміни дії опромінення під впливом кисню є коефіцієнт кисневого підсилення (ККП).

Він являє собою відношення величини ефективної дози (звичайно ЛД50) при опроміненні в умовах гіпоксії до дози, що зумовлює такий же ефект при опроміненні в повітрі. Проте іноді його виражають іншим показником – фактором зміни дози (ФЗД), який звичайно використовується для оцінки ефективності радіозахисних та радіосенсибілізуючих агентів.

Також до фізичних методів захисту відносять:

- ✓ Екранування стінами
- ✓ Створення запасів чистих кормів, води, їжі
- ✓ Будь-які ЗІЗ (протизаги, екрани для персоналу, просвинцьований одяг, накидки тощо).

2. Хімічні радіозахисні речовини та радіосенсибілізатори

В 1949 році практично водночас радіобіологи З. Бак і А. Ерве в Бельгії і Г.М. Патт з співробітниками в США повідомили про дві хімічні сполуки, введення яких лабораторним тваринам перед рентгенівським опроміненням підвищує їх виживання. Перші встановили, що таку дію має дуже сильна отрута ЦІАНІСТИЙ НАТРІЙ, ін'єкція якого мишам в кількості всього 5 мг/кг перед опроміненням знижувала ступінь радіаційного ураження. Другі – АМІНОКИСЛОТУ ЦИСТЕЇН, яка при введенні мишам в кількості 1000 мг/кг підвищувала їх виживання при опроміненні в летальній дозі.

Початок 1950-х років слід вважати часом, коли в радіобіології зародилося вчення про біологічний хімічний, або фармакологічний, захист і про РАДІОПРОТЕКТОРИ.

3. Класифікація радіопротекторів та механізми їх дії

РАДІОПРОТЕКТОРИ – це речовини, введення яких в організм перед опроміненням або під час опромінення іонізуючою радіацією знижує ступінь прояву радіобіологічних ефектів. Ідеальний радіопротектор повинен відповідати трьом основним вимогам:

- ✓ мати високу протирадіаційну ефективність;
- ✓ бути стабільним;
- ✓ не проявляти токсичної дії при введенні в організм.

Серед речовин з радіопротекторними властивостями можна виділити **два основних типи. Перші** – це сполуки **універсальної дії**, що здатні проявляти радіозахисні властивості при опроміненні **будь-яких організмів**. Механізми їх дії пов'язані зі специфічним втручанням у хід радіаційного ураження на початкових етапах його розвитку. Їх називають **ІСТИННИМИ**

РАДІОПРОТЕКТОРАМИ. До першого типу насамперед слід віднести сульфгідрильні сполуки.

Другі – це такі, дія яких зумовлена неспецифічним впливом на системи організму, **які підвищують його стійкість до іонізуючої радіації (і нерідко, не тільки до неї).** Такі радіопротектори звичайно бувають ефективними тільки по відношенню до певної таксономічної групи організмів – тварин або рослин. Їх називають **СПЕЦИФІЧНИМИ РАДІОПРОТЕКТОРАМИ.**

4. Радіопротектори пролонгованої дії

Цілком очевидно, що в умовах хронічного опромінення захисну дію повинні мати тільки ті радіопротектори, які протягом тривалого часу зберігають свої властивості, тобто мають високу стабільність. Досить високу стабільність **мають солі металів.**

5. Радіоблокатори і радіодекорпоранти

РАДІОБЛОКАТОРИ – речовини, які зменшують надходження в організм радіонуклідів.

РАДІОДЕКОРПОРАНТИ – це речовини, які прискорюють виведення радіонуклідів з організму.

6. Радіосенсибілізатори

Радіосенсибілізатори – це хімічні речовини, введення яких в організм перед опроміненням або під час опромінення приводить до посилення радіаційного ураження.

ЛЕКЦІЯ №7

**Тема лекції: ПІСЛЯРАДІАЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ РОСЛИН І ТВАРИН
(2 год.)**

План лекції:

1. Класифікація видів післярадіаційного відновлення.
2. Репараційне відновлення.
3. Репопуляційне відновлення.
4. Регенераційне відновлення.
5. Компенсаторне відновлення.
6. Управління процесами післярадіаційного відновлення.
7. Радіоадаптація.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

1. Класифікація видів післярадіаційного відновлення

Післярадіаційне відновлення може бути клінічне та біологічне, які в свою чергу складають загальне відновлення організму. Загальне відновлення досягається за рахунок чотирьох способів післярадіаційного відновлення: репараційного, репопуляційного, регенераційного і компенсаторного.

Клінічне відновлення - зменшення ознак ураження клітин, тканин і систем організму, динаміка якого характеризується наявністю прихованого періоду, періодів наростання змін і подальшого вирішення.

Біологічне відновлення - поступове зменшення загальної кількості первинних і наступних пошкоджень структур клітин у всіх системах організму.

Час, необхідний для зменшення загального променевого ураження на 50%, називається **періодом напіввідновлення**.

2.Репараційне відновлення

Дане відновлення досягається за рахунок відновлення макромолекул клітини, в першу чергу ДНК, та окремих структур клітини – хромосом, мембран тощо.

3.Репопуляційне відновлення

Джерелом репопуляційного відновлення є клітини, які зберегли

репродуктивну здатність після опромінення. З одного боку, це клітини, що в момент дії іонізуючого випромінювання перебували в радіостійких періодах клітинного циклу, а з іншого боку – клітини, що знаходилися в стані спокою – "поза циклом".

4.Регенераційне відновлення

Якщо перші два шляхи **післярадіаційного відновлення – репарація і репопуляція** властиві всім багатоклітинним організмам, як рослинам, так і тваринам, то **регенераційне відновлення** – переважно лише рослинам. Основні типи регенерації у вищих рослин – **регенерація тканин, які перебувають в стані спокою, і регенерація органів, які перебувають в стані спокою.**

5. Компенсаторне відновлення

У перебігу розвитку організму в ньому відбувається формування спеціалізованих клітин, тканин і органів за рахунок виникнення протягом морфогенезу відмінностей між однорідними клітинами і тканинами – **процес диференціації. Звичайно диференціація необоротна.** Але в умовах пошкодження тканин, при злоякісному рості і деяких інших ситуаціях, що ведуть до зміни балансу фізіолого-активних речовин, природний хід руху клітин по життєвому циклу порушується, і вони можуть набути здатності до диференціації в зворотному напрямі, тобто **дедиференціації.**

6. Управління процесами післярадіаційного відновлення

Є не мало даних і про те, до багато **хімічних речовин – ті ж відновники, солі різних металів і елементи живлення, гормони, ферменти, макроергічні сполуки та інші фізіологічно-активні речовини** здатні суттєво впливати на хід розвитку радіаційного пошкодження при введенні їх в поживне середовище у післярадіаційний період. Механізми дії більшості модифікаторів радіаційного ураження як фізичної, так і хімічної природи звичайно пов'язують з їх впливом не на віддалені етапи розвитку радіаційного ураження, а саме на первинні.

7. Радіоадаптація

З механізмами протирадіаційного захисту і післярадіаційного відновлення тісно пов'язане явище **радіоадаптації – пристосування живих організмів до дії певних рівнів іонізуючого випромінювання.**

ЛЕКЦІЯ №8

Тема лекції: ОРГАНІЗАЦІЯ І ВЕДЕННЯ ТВАРИННИЦТВА В УМОВАХ РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ТЕРИТОРІЙ (2 год.)

План лекції:

1. Організація кормовиробництва в умовах радіоактивного забруднення території.
2. Чинники, що впливають на перехід радіонуклідів із кормів у молоко і м'ясо.
3. Особливості виробництва молока і м'яса на забруднених радіацією територіях.
4. Особливості ведення тваринництва в зонах з різним рівнем забруднення.
5. Промислова переробка сировини тваринництва, одержаної від тварин, що утримувались на забрудненій території.
6. Особливості розведення м'ясної худоби в зоні радіоактивного забруднення.
7. Роль деяких елементів у надходженні радіоактивних речовин в організм тварин.
8. Препарати, які використовують для зниження надходження радіонуклідів у продукцію тваринництва.
9. Особливості ведення конярства, вівчарства, свинарства, птахівництва, звірівництва, бджільництва, рибництва в зоні радіоактивного забруднення.

Література:

1. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ: НУБіП України, 2016. 485 с.
2. Гудков І.М. Радіобіологія: уч.посіб. Київ. 2019. 504 с.
3. Радіобіологія : курс лекцій / В. І. Гроза. Миколаїв : МНАУ, 2018. 103 с.
4. Сільськогосподарська радіобіологія з основами радіоекології: Теоретичні основи та лабораторно-розрахунковий практикум: Навчальний посібник. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І.Франка, 2015. С. 312 с.
5. Радіобіологія з основами сільськогосподарської радіоекології. Практикум : навч. посіб. / В. І. Чорна, Т. В. Ананьєва. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. С. 162
6. Філіпська А. В., Шлапацький І. В., Скрипка Г. А. Рівень радіаційного фону на ринках м. Одеси // Матеріали ІІ міжнар. наук.-практ. конф. Актуальні аспекти розвитку ветеринарної медицини в умовах євроінтеграції. м. Одеса, 17–18 жовтня, 2024. С. 214-217.
7. Skrypka, H., Naydich, O., Piven, O., Pshychenko, V., & Dankevych, N. (2025). Моніторинг рівню радіаційного фону на ринках м. Одеси. Аграрний вісник Причорномор'я, (114), 58-70.

Зміст лекції:

1. Організація кормовиробництва в умовах радіоактивного забруднення території.

Основна частка в забрудненні продуктів тваринництва належить стронцію 90 та цезію 137.

Системи заходів зниження концентрації цих радіонуклідів в основному збігаються, їх можна поділити на **4 групи**:

- 1) виробництво кормів з допустимим вмістом радіонуклідів;*
- 2) зміна умов утримання і раціонів годівлі великої рогатої худоби на заключній відгодівлі та введення до раціонів спеціальних добавок, що зменшують перехід радіонуклідів у продукцію тваринництва;*
- 3) технологічна переробка продуктів тваринництва;*
- 4) перепрофілювання галузей тваринництва (заміна молочного скотарства на м'ясне чи скотарства на свинарство, птахівництво тощо).*

При утриманні тварин на забрудненій радіонуклідами території основна увага приділяється максимальному зниженню доступу радіонуклідів в організм с.-г. тварин через шлунково-кишковий тракт.

Раціональна кормова база повинна бути організована на основі використання кормів, одержаних з *орних земель та зведення до мінімуму використання природних неокультурених випасів та сінокосів.*

При неможливості проведення *агромеліоративних заходів* на природних луках, корми з цих угідь повинні використовуватись для робочої худоби.

2. Чинники, що впливають на перехід радіонуклідів із кормів у молоко і м'ясо

Перехід радіонуклідів з кормів у продукцію тваринництва залежить від *рівня і повноцінності годівлі тварин, їх віку, фізіологічного стану, продуктивності та інших факторів.* Для прогнозування початкової концентрації радіонуклідів в організмі тварин використовують такі параметри:

- ✓ коефіцієнт концентрації (КК),
- ✓ коефіцієнт накопичення (КН)
- ✓ кратність накопичення (Б).

3. Особливості виробництва молока і м'яса на забруднених радіацією територіях

Для забезпечення виробництва молока і м'яса згідно з діючими нормативами встановлюють межі допустимого вмісту І37цезію в: *раціонах*

великої рогатої худоби різного віку та рівня продуктивності, гранично допустимі рівні радіоактивного забруднення різних кормів, гранично допустимі рівні забруднення ґрунтів, де можливе виробництво кормових культур.

4. Особливості ведення тваринництва в зонах з різним рівнем забруднення

Особливу увагу слід звернути на корми, що виробляються у сільськогосподарських угіддях, що розташовані на торфових ґрунтах. Ці корми повинні піддаватись обов'язковому радіологічному контролю.

5. Промислова переробка сировини тваринництва, одержаної від тварин, що утримувались на забрудненій території

При аварійних ситуаціях та забрудненні навколишнього середовища радіонуклідами харчові продукти, в тому числі продукти тваринництва, можуть забруднюватися *біологічним шляхом (структурне забруднення), аерозольним і контактним (в обох випадках поверхнєве забруднення)*. При біологічному шляху забруднення радіонукліди потрапляють в організм тварин з кормом, водою і повітрям, що вдихується. Радіоактивні речовини тривало затримуються в м'язах, кістках та у внутрішніх органах тварин.

Продукти тваринництва в цьому випадку, зокрема м'ясо, молоко, яйця тощо, будуть містити радіоактивні речовини. Аерозольний шлях зараження радіонуклідами тварин, що призначені для забою, може відбутись у місцях заготівлі, при транспортуванні або перегоні, в цехах передзабійного утримання. Готові харчові продукти можуть забруднюватися аерозольно при порушенні правил їх одержання, транспортуванні та зберіганні. Контактний шлях забруднення продуктів тваринного і рослинного походження можливий у випадках перенесення їх у забруднену радіонуклідами тару, перевезення на забрудненому транспорті, обробка їх на забрудненому радіонуклідами обладнанні тощо.

Переробку м'ясної і молочної сировини здійснюють за діючими технологічними інструкціями.

6. Особливості розведення м'ясної худоби в зоні радіоактивного забруднення

У господарствах, розташованих на малородючих заболочених ґрунтах зі щільністю забруднення понад 555 кБк/м², де одержання молока згідно з діючими вимогами майже неможливе без додаткових захисних агроеліоративних і зоотехнічних заходів, необхідне перепрофілювання молочного скотарства на м'ясне. Тут слід створити галузь товарного м'ясного скотарства за системою "корова-теля" порід, найбільш пристосованих до

місцевих умов. Основною перевагою даної галузі є порівняно невелика потреба в енерго-і працезатратах.

7. Роль деяких елементів у надходженні радіоактивних речовин в організм тварин

Кальцій необхідний для забезпечення нормального перебігу багатьох життєвих процесів. В організмі тварин, особливо ссавців, він посідає виняткове місце, будучи основою скелета, головним мінеральним компонентом молока. При дефіциті кальцію в організмі його місце можуть посідати хімічні аналоги - елементи II групи, і насамперед стронцій. *Саме тому порушення кальцієвого живлення може призвести до збільшення нагромадження в організмі сільськогосподарських тварин 90 стронцію.*

8. Препарати, які використовують для зниження надходження радіонуклідів у продукцію тваринництва

До препаратів, здатних прискорювати процес виведення з організму ссавців як ¹³⁷цезій, так і ⁹⁰стронцій належать комплекси, що здатні утворювати з більшістю катіонів, у тому числі з цезієм і стронцієм, міцні, добре розчинні у воді комплексні сполуки, що, беручи участь у метаболізмі, прискорюють їх виведення з організму. Для зниження надходження радіонуклідів у продукцію тваринництва найчастіше використовують такі сорбенти:

- ✓ *Фероцин.*
- ✓ *Органо-мінеральні болюси.*
- ✓ *Кормосуміші та соляні брикети.*
- ✓ *Цеоліти.*

9. Особливості ведення конярства, вівчарства, свинарства, птахівництва, звірівництва, бджільництва, рибництва в зоні радіоактивного забруднення

Як сільськогосподарський та біологічний об'єкт коні належать до довгоростучих тварин. Тому при їх вирощуванні і використанні можна згодовувати найзабрудненіші корми.

Після аварії на ЧАЕС галузь було практично ліквідовано у зв'язку з високим поверхневим забрудненням вовни та відсутністю методів і технологій її очищення. Встановлено, що в четвертій зоні радіоактивного забруднення товарне вівчарство можна вести без обмежень. У третій зоні в стійловий період добове надходження цезію-137 з раціоном не повинно перевищувати 3,6 кБк. При переведенні овець на пасовищне утримання можна використовувати угіддя, де проведено докорінне чи поверхнєве поліпшення.

У м'язи свиней переходить значно більше цезію-137 порівняно з великою рогатою худобою - 15-20% вмісту в раціоні на кг, а виводиться він значно повільніше, ніж у великої рогатої худоби. Концентрація цезію-137 на чистих кормах за 3 місяці знижується лише у 3-5 разів. При годівлі зеленими кормами і немитими коренеплодами (40-60% раціону) забрудненість свинини різко підвищується, особливо за літньо-табірною утримання. Спостерігається значне підвищення забруднення свинини при вигодовуванні тваринам сироватки або молока. Враховуючи те, що заключна відгодівля свиней не є ефективним методом очищення організму, при їх розведенні слід обмежувати, а наприкінці вирощування повністю виключати з раціонів забруднені радіонуклідами корми.

Для зменшення радіоактивного забруднення м'яса курей та яєць у літній час птицю необхідно утримувати на закритих майданчиках, а до раціону включати зелень, вирощену на ріллі. В зимовий період концентрація радіонуклідів у продуктах птахівництва знижується ще більше. В цей період слід лише забезпечити птицю повноцінними за мінеральними речовинами та вітамінами кормами. При виробництві яєць та м'яса бройлерів кількість радіоцезію у добовому раціоні птиці не повинна перевищувати 130 Бк.

Звірівництво ведеться без обмежень, крім території, розташованої на відстані 10 км від зони відчуження. Для одержання хутра з допустимим вмістом радіоактивних речовин, рівень їх у раціоні звірів не повинен перевищувати встановлені норми. Можна використовувати корми і з вищим вмістом радіонуклідів, проте в заключний період вирощування тварин необхідно переводити на чисті корми. Тривалість цього періоду для кролів, норок, нутрій, песців, чорно-бурих лисиць - один місяць.

Бджільництво можна вести без обмежень на всій території радіоактивного забруднення, де дозволена трудова діяльність.

За наявності чистих кормів ставкове рибництво ведуть без обмежень. За недостатньої кормової бази для одержання риби з вмістом радіонуклідів згідно з вимогами ДР-2006, рекомендується вапнування ставків (250-270 кг/га) і застосування фосфорних та азотних добрив у кількостях до 50 кг/га ставів, що забезпечує також додатковий приріст риби (близько 2,5 кг на 1 кг добрив).