

Лабораторна робота № 8

Тема: Оцінка і прогнозування дозових навантажень на тварин і рослини.

Мета заняття: Навчитися оцінювати та прогнозувати дозові навантаження на організми тварин та рослин.

Теоретичні питання

1. Оцінка і прогнозування дозових навантажень на тварин і рослини.
2. Формування і сучасні рівні опромінення населення в Україні та світі.

Теоретичні відомості

У гострий період аварії на Чорнобильській АЕС потужність поглиненої дози гамма-випромінювання досягала одиниць Грей на годину. При цьому потужність дози β -випромінювання була в 10–100 разів більшою. Це призвело до прояву гострих ефектів: до загибелі внаслідок переопромінення найбільш чутливих до радіації рослинних (хвойні) і тваринних (деякі безхребетні) організмів. Близько 80% поглиненої рослинами і тваринами дози опромінення було отримано протягом перших трьох місяців після аварії.

Варто зазначити, що більше 95% від цієї дози організми отримали за рахунок саме β -опромінення.

Останнім часом особливу актуальність набули питання оцінки ризику опромінення не тільки людини, але й інших організмів. Піднімається питання правомірності основної парадигми радіоекології, що базується на твердженні

«Якщо захищена людина, то захищені й інші біологічні об'єкти» (МКРЗ 91, 103). Про це свідчить широка дискусія, яка розгорнулася навколо визначення рівнів допустимих доз опромінення, пошук підходів для розробки дозиметричних моделей для біоти та створення МАГАТЕ в 2004 р. відповідної робочої групи, а також в 2005 р. 5-го комітету МКРЗ «Радіаційний захист навколишнього середовища». Якщо підходи і дозиметричні моделі опромінення людини нині є добре розвинутими, то дозиметричні моделі для зовнішнього і внутрішнього опромінення других організмів лише зараз бурхливо розвиваються.

Поглинену дозу випромінювання можна розрахувати за спеціальними формулами для джерел різної форми, що містять різні радіонукліди (калькулятор поглиненої внутрішньої дози МКРЗ - <http://biotadc.icrp.org/>). Під час цих розрахунків ураховують масу, розмір і форму рослин і тіла тварин, а також час перебування на ґрунті, на дереві та інші ситуації. Дозиметричні формули дають змогу отримати наближені до реальних оцінки поглинених доз випромінювання від точкових, плоских та об'ємних джерел. Слід зазначити, що простої і водночас універсальної форми для розрахунків бути не може. Зрозуміло, що особливо складною є проблема оцінки поглинених доз випромінювання для рослин і тварин, які живуть у зонах радіонуклідних аномалій. Для розрахунку і оцінки поглинених доз випромінювання внаслідок

потрапляння радіонуклідів на поверхню рослин і тіла тварин, а також накопичення їх в організмах потрібно враховувати такі параметри:

- Спектр і активність різних радіонуклідів у компонентах екосистем у зоні перебування рослин і тварин в різний час. На одній і тій самій території навіть з однорідним рівнем радіонуклідного забруднення вони будуть різні для рослин, ссавців, птахів, риб та ін.
- Середній розрахунок часу перебування, пересування і місця існування різних представників біоти екосистеми у різних компонентах і ділянках екосистеми, на різних стадіях життя окремих видів живих організмів та популяцій. Навіть для рослин на стадіях насіння, паростків, молоді і зрілої рослини дози можуть відрізнятися в сотні разів.
- Коефіцієнти накопичення і середні концентрації в організмах радіонуклідів для різних представників біоти, розподіл радіонуклідів у тканинах та органах (особливо критичних) рослин і тварин в онтогенезі. Якщо коефіцієнти накопичення набагато перевищують одиницю, слід урахувати взаємний вплив γ -випромінювання особин у разі високої щільності проживання, а не тільки поглинені внаслідок внутрішнього опромінення дози. Це стосується насамперед фіто- і зоопланктону у водних екосистемах.
- Розмір (об'єм) критичних органів і тіла рослин та тварин. Якщо розмір особини, її критичних органів дуже малий (мікроорганізми, меристеми рослин та ін.), то формула розрахунку поглиненої дози має враховувати пробіг γ -, β - й α -випромінювання. Для малих об'ємів тільки частина дози випромінювання інкорпорованих радіонуклідів поглинається безпосередньо в межах критичного органа чи всього тіла, інша частина дози може поглинатися абіотичними компонентами середовища (повітря, вода, ґрунт тощо) чи в організмі інших представників біоти за високої густоти і чисельності різних видів у певному об'ємі ґрунту, води, донних відкладень.

Таким чином, виділено чотири групи параметрів, що можуть значно вплинути на оцінку доз, поглинених представниками біоти в екосистемі внаслідок внутрішнього і зовнішнього опромінення. При цьому кожна конкретна ситуація потребує спеціального розгляду, вибору та розробки моделі і формули для розрахунку поглиненої дози випромінювання на кожній стадії життя організмів і популяцій. Дозу випромінювання, поглинену біотою екосистеми, вимірюють у греях (радах). Оскільки існуючі оцінки відносної біологічної ефективності (ВБЕ) різних видів випромінювання орієнтовані на організм людини, вони не можуть бути автоматично перенесені на інших представників біоти екосистем. Зрозуміло, що біологічний ефект α -випромінювачів, що потрапили в тіло дощового черв'яка, може відрізнятися від оцінок ВБЕ, прийнятих для людини. Тому універсальних

формул розрахунку еквівалентних доз випромінювання для різних видів біоти поки що немає, а оцінки їх у звіртах (берах) можуть мати лише орієнтовне значення.

Як було показано вище, основний внесок у формування ефективної дози опромінення населення, навіть у регіонах, що постраждали в результаті Чорнобильської катастрофи, дає складова природного радіоактивного фону (табл. 1). Більше половини всієї середньої дози опромінення населення формується за рахунок інгаляції радону і приблизно по 10% від зовнішнього космічного опромінення, випромінювання природних радіонуклідів, що містяться у ґрунті й будівлях, а також від внутрішнього опромінення за рахунок їх перорального надходження в організм. За природним радіоактивним фоном ідуть дози від медичного опромінення (табл. 3.21). У відповідності до закону ліміт дози від чорнобильських радіонуклідів не повинен перевищувати 1 мЗв/рік, що, як відмічалось вище, не дотримується зараз тільки в кількох десятках населених пунктів. Тим не менше, навіть там дози від чорнобильських радіонуклідів значно нижчі за природний фон (рис. 1). Основну колективну еквівалентну дозу випромінювання для всього людства дають природні джерела випромінювання, потім медичні процедури, глобальні випадіння після ядерних випробувань, і на останньому місці в цьому переліку йдуть аварії на ядерних підприємствах.

Незважаючи на це, опромінення від техногенних джерел завжди викликає питання: а чи не є це небезпечним для здоров'я? Відповідь залежить від отриманої дози, причому доза від природних і техногенних джерел повинна підсумовуватися. Якщо сумарна доза знаходиться в діапазоні коливань природного фону, то реальної небезпеки для здоров'я немає. Це все одно, що переїхати в місцевість з вищим природним фоном, наприклад до Фінляндії чи в Карпати. Для організму ці дози є малими.

Для прикладу, оцінимо в нинішній час середньорічні ефективні дози опромінення середньозваженої референтної людини від чорнобильського забруднення в сільській місцевості поблизу Києва, де щільність забруднення дерново-підзолистого супіщаного ґрунту ^{137}Cs складає близько

$$A_s^{Cs-137} = 40 \text{ кБк/м}^2.$$

Проблема оцінки індивідуальної річної очікуваної ефективної дози випромінювання для людини, що проживає на забрудненій радіонуклідами території, зводиться практично до розрахунку й оцінки двох складових доз.

1. Середньорічну ефективну дозу від зовнішніх джерел γ -випромінювання (ґрунту) можна оцінити за показами дозиметра (розділ 0) чи шляхом розрахунку (розділ 0, вираз 3.27):

$$E_{\text{ext}} = A_s^{Cs-137} \cdot 1.2 \cdot 10^{-3} (\text{мЗв} \cdot \text{м}^2 / \text{кБк}) = 40 \cdot 1.2 \cdot 10^{-3} = 0.048 \text{ мЗв/рік} \quad 2.$$

Середньорічну ефективну дозу випромінювання внаслідок уживання

продуктів харчування (харчова доза) і води оцінюють шляхом вимірювання активності (вмісту) радіонуклідів в організмі за допомогою приладу ЛВЛ (лічильника випромінювань людини), а потім перераховують на очікувану дозу за ^{137}Cs (розділ 0). Можна також проаналізувати чи спрогнозувати активності радіонуклідів у продуктах харчування і воді, зі значень яких річна внутрішня ефективна доза розраховується з використанням дозиметричних моделей.

Таблиця 1. Середня ефективна доза опромінення жителів Землі та деяких країн від усіх джерел радіоактивності (за даними НКДАР-2000, МАГАТЕ, 2004)

Радіоактивність	Джерело	Ефективна доза, мЗв/рік				
		Середньосвітова	Україна	Росія	Франція	Діапазон
Природна	Зовнішнє космічне випромінювання	0.4	0.32	3.5	0.4	0.3–1.0
	Зовнішнє від ґрунту: ^{40}K , ряди ^{238}U і ^{232}Th	0.5	0.36		0.5	0.3–0.6
	Внутрішнє пероральне: ^{40}K , ряди ^{238}U і ^{232}Th	0.3	0.36			0.2–0.8
	Внутрішнє інгаляційне: радон	1.2	3.2		1.5	0.2–10
Техногенна	Медичне	0.4	1.0	0.8	1.0	0.1–5
	Випробування ядерної зброї	0.005	0.005	0.02	0.02	
	Аварія на ЧАЕС	0.002	0.01			
	АЕС і підприємства ЯПЦ	0.0005	0.005			0.01
	Побутові: TV, PC				0.001	
Разом		2.8	5.2	4.3	3.4	1–10

Для дерново-підзолистих ґрунтів усереднений коефіцієнт переходу ^{137}Cs в молоко (КП) становить 0.2 (Бк/кг)/(кБк/м²), отже, при щільності забруднення $A_s^{Cs-137} = 40$ кБк/м² середня питома активність ^{137}Cs в молоці складає $A_{milk}^{Cs-137} = A_s^{Cs-137} \cdot K_{\Pi} = 40 \cdot 0.2 = 8$ Бк/л, і при перемноженні її на величину «референтного» молочного еквіваленту (355 л/рік), що враховує надходження ^{137}Cs з усіма іншими продуктами, отримуємо середньорічне пероральне надходження ^{137}Cs в організм дорослої людини

$A_{ing}^{Cs-137} = 8 \cdot 355 = 2840$ Бк/рік. За рахунок такого надходження ^{137}Cs людина отримує ефективну дозу.

$$E_{ing} = A_{ing}^{Cs-137} \cdot 1.2 \cdot 10^{-5} (\text{мЗв/Бк}) = 2840 \cdot 1.2 \cdot 10^{-5} = 0.034 \text{ мЗв/рік}$$

Таким чином, для дерново-підзолистих ґрунтів ефективні дози зовнішнього ($E_{ext}=0.048$ мЗв/рік) і внутрішнього ($E_{ing} = 0.034$ мЗв/рік) опромінення населення від ^{137}Cs на пізній стадії аварії будуть співставними. За існуючої в околицях Києва щільності забруднення ґрунту

$A_s^{^{137}\text{Cs}} = 40$ кБк/м² сумарна середньорічна ефективна доза опромінення сільського населення становить $E_t=E_{ext}+E_{ing} = 0.048+0.034=0.08$ мЗв/рік, що більш ніж в 10 разів нижче від регламентованого рівня середніх медичних доз опромінення при діагностиці в Києві, і більш ніж у 50 разів нижче природного радіоактивного фону. Слід зазначити, що значення природного фону в різних регіонах України значно перевищують цю чорнобильську дозу, і сумарна доза опромінення (разом з природним фоном) в регіонах, не постраждалих після аварії на ЧАЕС, зараз може перевищувати дози в «чорнобильських регіонах».

Практичні завдання

- 1) Оцінити опромінення у Львові забруднення Cs .