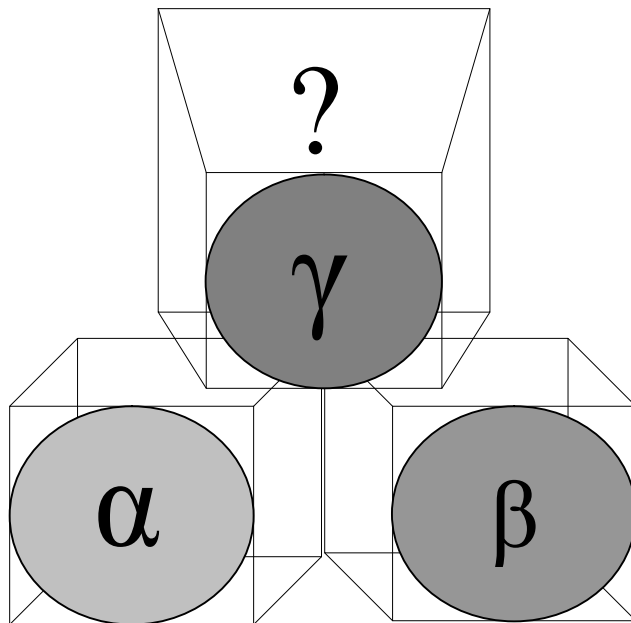


**О.І.ГЕРАСИМОВ**

**РАДІОЕКОЛОГІЯ:**

**ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ І  
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**



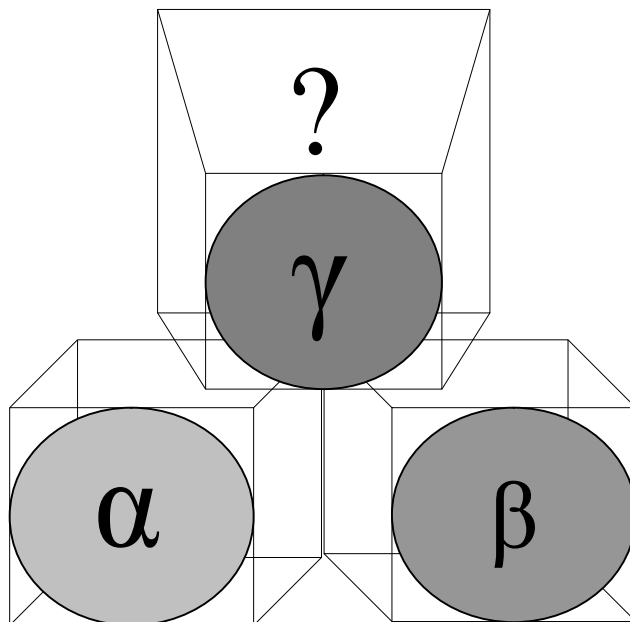
**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**О.І.ГЕРАСИМОВ**

**РАДІОЕКОЛОГІЯ:**

**ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ І  
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**



Одеса 2009

**ББК 28.081.2**  
**Г 37**  
**УДК 539.1:504**

*Друкується за рішенням Вченої ради Одеського державного екологічного університету (протокол № 9 від 30.10.2008 р.).*

**Герасимов О.І.**

Іонізуюче випромінювання і навколишнє середовище: Конспект лекцій. –  
Одеса: Вид-во “ТЭС”, 2009. – 40с.

Конспект лекцій має за мету створення уявлень про предмет, задачі та методи сучасної Радіоекології у слухачів, які мають початкову підготовку з фізики в межах загального курсу типового вищого навчального закладу. Матеріал конспекту є складовою навчального плану підготовки студентів у напрямку охорона навколишнього середовища. Він також може бути застосований для компактного викладення курсу методом оглядових лекцій, майстер-класів, галузевих практичних семінарів.

Конспект лекцій використовується для денної та заочної форми навчання.

## Зміст

Вступ.....	4
1. Загальні історичні відомості з фізики іонізуючого випромінювання...	5
2. Види іонізуючих випромінювань.....	5
3. Одиниці вимірювання іонізуючих випромінювань.....	9
4. Природні і техногенні радіонукліди.....	13
5. Біологічна дія продуктів радіоактивності.....	17
6. Нормування іонізуючих випромінювань і способи захисту від них....	21
7. Засоби індивідуального захисту.....	23
8. Зберігання, перевезення і ліквідація відходів радіоактивних продуктів.	23
9. Методи спостереження і реєстрації іонізуючих випромінень.....	24
10. Розподіл радіонуклідів на поверхні землі, радіаційні аварії.....	26
11. Радіація і життя.....	28
Висновок.....	28
Література.....	29
Етимологічний словник.....	31

## ВСТУП

На кожного з нас постійно діють інфрачервоні промені, видиме світло, ультрафіолетове (УФ) випромінювання. Їхнє проходження крізь повітря не супроводжується появою в ньому іонів, тому їх не відносять до іонізуючих. У спектрі електромагнітних хвиль (рис. 1) за УФ розташовано рентгенівське випромінювання.

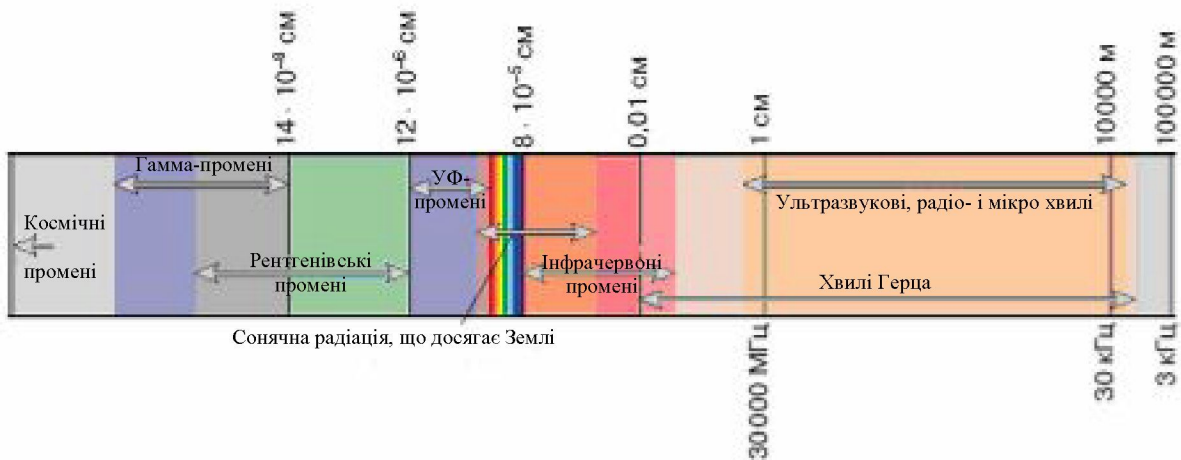


Рис.1. Спектр електромагнітного випромінювання

Понад 100 років тому було відкрито існування в природі радіоактивних атомів. У випромінюванні, супроводжувачому розпад ядер цих атомів, були виявлені  $\alpha$  - частинки ( $\alpha$  - промені) - ядра гелію-4( He). Їх випускають, наприклад, ядра атомів урану  $^{238}\text{U}$  і  $^{235}\text{U}$ , а також торію  $^{232}\text{Th}$ . Інші радіоактивні ядра, наприклад ядра природних атомів калію  $^{40}\text{K}$  і штучно отриманих атомів стронцію  $^{90}\text{Sr}$  випускають при розпаді  $\beta$  - частинки - електрони. Електрони е виникають в ядрах при перетворенні одного з нейтронів n на протон p, у відповідності зі схемою реакції:  $n=p+e+\tilde{\nu}$ . Це явище буде пояснено пізніше.

$\alpha$  - і  $\beta$  - розпади часто супроводжуються випусканням  $\gamma$  - променів ( $\gamma$  - квантів), що відносяться до електромагнітного випромінювання і мають ще більшу проникну здатність, чим промені Рентгена. Проходження крізь газ (у тому числі і крізь повітря),  $\alpha$  - і  $\beta$  - частинок, а також рентгенівського і  $\gamma$  - випромінювання, супроводжується іонізацією, яка відбувається, звичайно, різною мірою. Тому такі види випромінювання відносять до іонізуючого.

## 1. ЗАГАЛЬНІ ІСТОРИЧНІ ВІДОМОСТІ З ФІЗИКИ ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

Явище природної радіоактивності, відкрите в 1896г. Анрі Бекерелем, полягає в мимовільному перетворенні нестійких атомів ядер на ядра інших елементів з виходом іонізуючих випромінювань. Останні є потоками частинок і квантів електромагнітного випромінювання (ЕМВ), які проходять крізь речовину, спричиняють іонізацію та збудження атомів і молекул середовища.

Дещо раніше (1895 р.) Конрад Рентген відкрив X-промені (жорстке ЕМВ), які потім були названі його іменем - рентгенівськими променями.

У 1897 р. Дж. Дж. Томсон доповів про відкриття нової елементарної частинки - електрона. Це відкриття завдало жорстокого удару багатовіковим уявленням про неподільність і елементарність атома.

У 1898 р. М. Скадовська-Кюрі виявила радіоактивність торію і в цьому ж році спільно з чоловіком – П. Кюрі відкрила полоній і радій. Вони встановили факт перетворення радіонуклідів на інші елементи. Нагадаємо, що нуклідом називаються будь-які атоми, ядра, що відрізняються складом, а нуклон – це загальна назва протона і нейтрона.

Нарешті, в 1899 р. Е. Резерфорд відкрив  $\alpha$  – і  $\beta$  - промені, з'ясувавши їх природу і спільно з Ф. Соді створив теорію радіоактивності.

З цих великих відкриттів починалась ядерна фізика - область сучасної фізики, яка вивчає структуру і перетворення ядер атомів, і дотепер має величезний вплив на всі сторони життя людства.

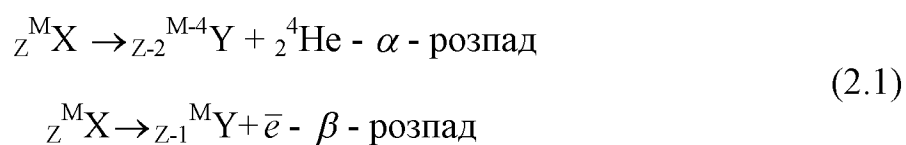
Ядерна фізика тісно пов'язана із спорідненими з нею атомною фізикою та фізикою високих енергій (фізикою елементарних частинок, див.табл.1). Необхідно відзначити, що у всіх різновидах радіоактивних перетворень виконуються закони збереження енергії, імпульсу, моменту кількості руху, маси, електронного, баріонного і лептонного заряду.

## 2. ВИДИ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

При дослідженні процесів радіоактивності було встановлено, що випускання різних частинок і  $\gamma$  -випромінювань, а також перетворення одних ядер на інші відбувається з дотриманням правил зсуву:

- при  $\alpha$  - розпаді ядро втрачає позитивний заряд  $2e^+$  і його маса зменшується на чотири одиниці, внаслідок чого елемент зміщується на початок періодичної системи;
- при  $\beta$  - розпаді елемент зміщується на одну позицію у напрямку кінця періодичної системи.

Напишемо правило зсуву у вигляді символічних:



де X- початковий елемент; Y-елемент перетворення; M- масове число; Z- заряд ядра атома (або порядковий номер) елемента.

Таблиця 2.1. Класифікація і властивості елементарних частинок

№ групи	Назва частинки і античастинки	Позначення	Маса, $m_e$	Заряд, $e$	Час життя, с
I	Фотон	$\gamma$	0	0	стабільний
II легкі лептони	Нейтрино, антинейтрино (електронні)	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	0	0	Стабільні
	Нейтрино, антинейтрино (мюонні)	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	0	0	-«-
	Електрон, позитрон $\mu^-$ - мезон, $\mu^+$ - мезон (мюони)	$\bar{e}, e^+$ $\mu^-, \mu^+$	1 206,8		-«- $2,2 \cdot 10^{-6}$
III „середні” мезони	Пеони $\pi^+$ -мезон, $\pi^-$ - мезон $\pi^0$ -мезон	$\pi^+, \pi^-, \pi^0$	273 264,1	+1;-1 0	$2,6 \cdot 10^{-8}$ $0,9 \cdot 10^{-16}$
	Каони $K^+$ - мезон, $K^-$ - мезон $K^0$ -мезон, $\bar{K}^0$ -мезон	$K^+; K^-$ $K_0; \bar{K}_0$	966,3 974,2	+1;-1 0	$1,2 \cdot 10^{-8}$ $0,9 \cdot 10^{-10}$
	$\eta$ - мезон	$\eta$	1073,9	0	$\sim 10^{-19}$
	Нуклони протон, антипротон нейтрон, антинейтрон	$p^+, \bar{p}^-$ $\bar{n}_0, \tilde{n}_0$	1836,1 1838,1	+1;-1 0;0	Стабільні $1 \cdot 10^3$
IV „великі” баріони (андрони)	Гіперони $\Lambda$ -гіперон, анти- $\Lambda$ -гіперон; $\Sigma^+$ -гіперон; анти- $\Sigma^+$ -гіперон	$\Lambda, \tilde{\Lambda}$ $\Sigma^+;$ $\Sigma^-$	2183,2 2327,6	0;0 +1;-1	$2,5 \cdot 10^{-10}$ $0,8 \cdot 10^{-10}$
	$\Sigma^0$ -гіперон, анти- $\Sigma^0$ -гіперон	$\Sigma^0 \Sigma^0$	2333,7	0;0	$< 1,0 \cdot 10^{-14}$
	$\Omega^-$ -гіперон, анти- $\Omega^-$ -гіперон	$\Omega^-, \tilde{\Omega}^+$	3273,0	-1;+1	$1,3 \cdot 10^{-10}$

Основні види іонізуючих випромінювань наступні: альфа ( $\alpha$ ) - випромінювання; бета ( $\beta^-$ ) - випромінювання; нейтронне випромінювання;  $\gamma$  - випромінювання; рентгенівське випромінювання.

Дамо коротку характеристику кожного з цих видів випромінювань:

$\alpha$  - випромінювання є потоком ядер гелію ( ${}^4_2\text{He}$ ), які випромінюються при розпаді радіоактивної речовини, або при ядерних реакціях. Енергія  $\alpha$  - частинок за порядком величини складає декілька МеВ. У повітрі ці частинки поглинаються шаром завтовшки 8-9 см. Пробіг  $\alpha$  - частин в живій тканині складає декілька десятків мікрон, а товщина алюмінієвої фольги в 10 мікрон повністю поглинає потік  $\alpha$  - променів. При збільшенні енергії  $\alpha$  - частинки зростає рівень іонізації, що вона викликає у середовищі, яким поглинається. Внаслідок великої маси ці частинки швидко втрачають свою енергію, тому проникаюча здатність цього виду випромінювання невисока. Питома іонізація  $\alpha$  - частинок у повітрі складає декілька десятків тисяч пар іонів на 1 см шляху.

$\beta$  - випромінювання є потоком електронів (або позитронів), які виникають при радіоактивному розпаді. Енергія цих частинок складає декілька МеВ. Максимальний пробіг в повітрі перевищує 15 м, а в живих тканинах - 2,5 см. Володіючи значно меншою масою, чим  $\alpha$  - частинки,  $\beta$  - частинки мають вищу проникаючу здатність. Іонізуюча здатність цього виду випромінювання менша, у порівнянні з  $\alpha$  - частинками, і складає декілька десятків (пар іонів) на 1 см шляху.

Нейтронне випромінювання перетворює свою енергію завдяки зіткненням з ядрами речовини. При непружних взаємодіях можливою є поява вторинних випромінювань, які можуть виглядати як заряджені частинки, або як  $\gamma$  -промені. При пружних зіткненнях можлива іонізація речовини. Проникаюча здатність нейтронів в значній мірі залежить від їх енергії.

Рентгенівське випромінювання виникає при дії  $\beta$  - частинок на навколишнє середовище, або при бомбардуванні електронами анодів рентгенівських трубок, може супроводжувати роботу прискорювачів і т.п. Енергія фотонів рентгенівського випромінювання складає приблизно 1 МеВ. Рентгенівське випромінювання, як правило, розкладається на гальмівне і характеристичне. Гальмівне випромінювання має безперервний спектр, а характеристичне - дискретний, який залежить від матеріалу з якого побудовано анод. Рентгенівське випромінювання має велику проникаючу і малу іонізуючу здатності.

$\gamma$  - випромінювання, як і рентгенівське, має електромагнітну природу і володіє великою проникаючою здібністю і малою іонізуючою.  $\gamma$  - випромінювання виникає в результаті природної радіоактивності, а також у штучних ядерних реакціях, при зіткненні частинок високих енергій. Енергія



фотона  $\gamma$  - випромінювання може досягати дуже великих значень, які у багато разів перевищують енергію фотона рентгенівського діапазону. Якісна характеристика проникаючої здатності різних видів випромінювання представлена на рис. 2.

Радіоактивні речовини (радіонукліди) мають різні ступені стійкості. За певний час вони або розпадаються, або переходять в інший стан. Для оцінки стійкості застосовують поняття періоду напіврозпаду  $T_{1/2}$ . Це час, протягом якого розпадається половина початкового числа атомів радіонуклідів.

Зміна числа радіоактивних атомів відбувається по експоненціальному закону:

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (2.2)$$

де  $N_0$ - початкове число атомів;  $N$ - число атомів, що не розпалися, протягом часу  $t$ ;  $\lambda$ - стала розпаду.

Період напіврозпаду  $T_{1/2}$  визначається за допомогою співвідношення:

$$N_0/2 = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2}) \quad (2.3)$$

Звідки витікає

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} \quad (2.4)$$

Якщо  $n = t / T_{1/2}$  число  $N$  досягає значення:

$$N = N_0 \frac{1}{2^n} \quad (2.5)$$

Для оцінки ступеня стійкості радіонуклідів вводять поняття середнього часу життя  $\tau$ :

$$N = N_0 \exp(-t/\tau) \quad (2.6)$$

Величина  $\tau$  дорівнює проміжку часу, протягом якого число атомів  $N_0$  зменшується в  $e$  разів.

Період  $T_{1/2}$  і  $\tau$  зв'язані співвідношенням:

$$T_{1/2} = 0,683 \tau \quad (2.7)$$

З урахуванням (2.4) неважко отримати  $\tau = 1/\lambda$ .

### 3. ОДИНИЦІ ВИМІРЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ

При взаємодії жорсткого випромінювання і високоенергетичних частинок з речовиною відбувається процес іонізації, який накладає певний відбиток на реєстрацію і вимірювання іонізуючих випромінювань. Крім загальних енергетичних величин необхідно застосувати ряд специфічних величин і одиниць, що включають число іонізуючих частинок з урахуванням їхньої здатності до іонізації.

Енергія частинок, здатних іонізувати середовище, визначається кінетичною енергією, а для фотонів рентгенівського і  $\gamma$ - випромінювань - визначається співвідношенням  $h\nu$  ( $h$ -стала Планка;  $\nu$ - частота випромінювання).

Енергія іонізуючих частинок, як правило, вимірюється в електрон-вольтах (eВ) ( $1 \text{ eВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ ерг}$ ).

Потік іонізуючих частинок  $\Phi$  визначається числом частинок, які проходять крізь виділену поверхню за одиницю часу, тобто  $\Phi = dN/dt$ .

Щільність потоку  $\phi$  задається похідною  $d\Phi/dS$ , а потік енергії іонізуючих частинок - величиною  $\Phi_E = dE/dt$ . Остання - визначається відношенням повної енергії  $dE$  частинок, які випромінюються в певному напрямі за проміжок часу  $dt$ .

Доза іонізуючого випромінювання  $D_{II}$  яка поглинається (доза випромінювання) визначається за допомогою відношення енергії  $dE$ , яка поглинається в даному об'ємі, до маси  $dm$  речовини, яку вміщує той же об'єм.

$$D_{II} = \frac{dE}{dm} \quad (3.1)$$

Величина  $D_{II}$  є головним параметром, який визначає ступінь радіаційної дії. Він вимірюється у системі одиниць СІ в Дж/кг, а в СГС- ерг/г. Одиниця дози іонізуючого випромінювання, яка отримала назву грей (Гр), у системі СІ дорівнює:

$$1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 10^4 \text{ ерг/г.} \quad (3.2)$$

У якості позасистемної одиниці практичної дозиметрії, до теперішнього часу, іноді використовується радій (рад):

$$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр} = 10^{-2} \text{ Дж/кг} = 10^2 \text{ ерг/г} \quad (3.3)$$

Біологічна дія іонізуючого випромінювання залежить не тільки від поглиненої дози випромінювання, але і від глибини проникнення в живий

організм. Для більш точної оцінки вводиться еквівалентна доза іонізуючого випромінювання  $D_{\text{екв}}$  (або  $H$ ):

$$D_{\text{екв}} = D_{\text{п}} K = H, \quad (3.4)$$

де  $K$  - безрозмірний коефіцієнт якості опромінення.

Мінімальне значення  $K=1$  і відповідає випадку лінійної передачі енергії середовищу (системі). У інших випадках значення цього коефіцієнта рекомендовані Міжнародною комісією з радіаційного захисту (МКРЗ) і представлені в табл.3.1 (максимальне значення  $K=20$ ).

Розмірність еквівалентної дози іонізуючого випромінювання співпадає з розмірністю поглиненої дози, а її одиниця називається зіверт (Зв):

$$1 \text{ Зв} = 1 \text{ Гр} \cdot 1 (K=1) = 100 \text{ рад} \cdot 1 (K=1) = 100 \text{ бер}, \quad (3.5)$$

де 1 бер - біологічний еквівалент рентгена і відповідає 1 рад при  $K=1$ .

Таблиця 3.1. Види іонізуючого випромінювання

Види іонізуючого випромінювання	Значення коефіцієнта $K$
Рентгенівське і $\gamma$ - випромінювання	1
Електрони, позитрони, $\beta$ - випромінювання	1
Протони з енергією менше 10 МеВ	10
Нейтрони з енергією менше 20 МеВ	3
Нейтрони з енергією в границях 0,1-10 МеВ	10
$\alpha$ - випромінювання з енергією 10 МеВ	20
Важкі ядра віддачі	20

За характерний процес, який супроводжує радіоактивність, прийнято 1 розпад, що супроводжується випромінюванням  $\alpha$  - або  $\beta$  - частинок, нейтронів,  $\gamma$  - променів. За умови, коли за одну секунду відбувається 1 розпад, інтенсивність (активність) розпаду прийнято оцінювати в 1 бекерель (Бк). Всі одиниці активності зв'язані співвідношенням:

$$1 \text{ Рд (резерфорд)} = 10^6 \text{ Бк}; 1 \text{ Кі (кюрі)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

Як вже згадувалось, для того, щоб охарактеризувати дію іонізуючого випромінювання на організм, використовують поняття дози. Доза іонізуючого випромінювання - це енергія, яку випромінювання передає тому

тілу, крізь яке проходить. Одиниця поглиненої дози  $D_{\text{погл}}$  в 1 грей (1 Гр), 1 Гр відповідає поглинанню 1 Дж в 1 кг речовини.

Парадокс полягає в тому, що енергія, яка відповідає поглиненню організмом людини, наприклад, дози в 1Гр, сама по собі дуже мала, а ось шкідливу дію вона викликає значну (можливою є навіть поява променевої хвороби). Формально, з точки зору масштабу поглиненої енергії доза в 1Гр відповідає, наприклад, тому, що людина випила чайну ложку води з температурою близько  $55^{\circ}\text{C}$ . Зрозуміло, що температура тіла при цьому практично не зміниться і ніякої шкоди людині не завдасть.

Дослідження виявили, що у разі дії на організм навіть невеликих доз іонізуючого випромінювання можливі тяжкі наслідки: вся справа в іонах, що утворюються під дією випромінювання, і особливо вільних радикалах. Шкідлива дія поглиненого іонізуючого випромінювання залежить від того, яким типом випромінювання обумовлена доза. Шкідливий ефект поглиненої дози в 0,1 Гр від  $\alpha$ -радіонукліда значно сильніше, ніж від такої ж дози, пов'язаної з поглинанням  $\beta$ -,  $\gamma$ - або рентгенівського випромінювання. Для характеристики розбіжностей у дії на організм іонізуючого випромінювання різних типів використовують поняття ефективної дози  $D_{\text{еф}} \cdot D_{\text{еф}} = W_R \cdot D_{\text{погл}}$  (коефіцієнт  $W_R$  відбиває ефективність біологічної дії випромінювання). Значення  $W_R$  для  $\beta$ -,  $\gamma$ - випромінювання рівне 1; а для  $\alpha$ - випромінювання - 20. Одиниця вимірювання ефективної дози – це 1 зіверт (1 Зв).

Згідно з прийнятими, скажімо, в Російській Федерації, нормами, граничнодопустима доза для жителів Росії є такою, що не перебільшує 5 мЗв за рік. У відповідності до НРБУ-97 гранично допустима доза складає 2 МеВ на рік. Відзначимо, що річна доза, яка відповідає середньому по Росії природному фону іонізуючого випромінювання, складає приблизно 1 мЗв. Для окремих ділянок поверхні Землі природний фон значно вищий, ніж в Росії (скажімо, на території Франції). Особливо високий він в окремих регіонах Індії і Бразилії. Складові, з яких складається середня річна доза опроміненя, що отримується людиною, наприклад, в середніх широтах Росії, показані на рис.2.

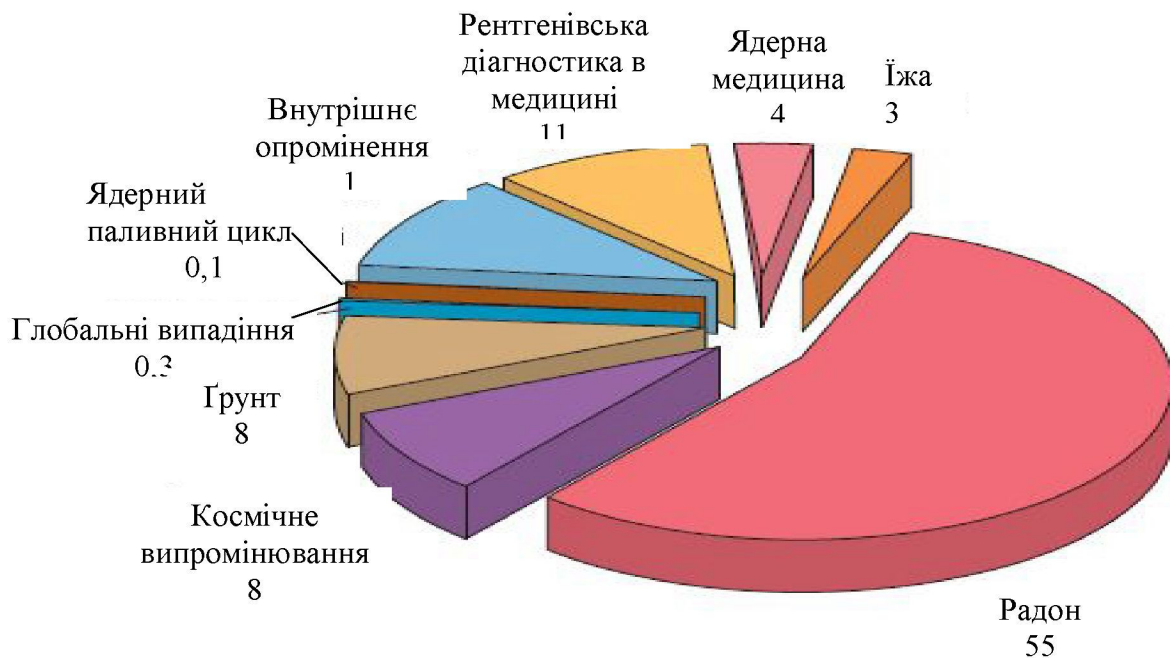


Рис.2. Складені компоненти середньої річної дози (у %) від природного фону. Наведені на діаграмі значення доз можуть відрізнятися від даних, з інших джерел. Такі відмінності спричинені складністю і умовністю компонентів природного фону на окремі компоненти.

Для працівників підприємства ЯТЦ значення граничнодопустимої дози складає не більше 50 мЗв за рік. Питання про те, що таке граничнодопустима доза і на підставі чого вона встановлена, досить складне і буде стисло розглянуто далі.

Абсолютні значення енергій, при яких вже виявляється шкідлива дія випромінювання на організм, досить малі, виміряти їх досить складно. Тому частіше використовують поняття, так званої, експозиційної дози ( $D_{експ}$ ). При цьому мова йде не про вимірювання енергії, поглиненої організмом, а про характеристику випромінювання по ефекту іонізації повітря, що викликається ним. Для вимірювання виникаючої електропровідності газу створені досить прості прилади такі, наприклад, як лічильник Гейгера- Мюллера.

Якщо визначити число іонів, які виникають при проходженні випромінювання у повітрі, то можна зробити висновок про значення експозиційної дози ( $D_{експ}$ ). Позасистемна одиниця експозиційної дози 1 рентген (1 Р). При експозиційній дозі в 1Р в  $1\text{см}^3$  сухого повітря, що утримується при  $0^{\circ}\text{C}$  і 0,1 МПа, за рахунок проходження  $\gamma$  - або рентгенівського випромінювання виникає  $2,08 \cdot 10^9$  пар іонів. Експозиційній дозі в 1 Р для людського тіла відповідає ефективна доза приблизно в 0,01 Зв.

Таким чином, що за допомогою вимірювань експозиційної дози можна приблизно оцінити і ефективну дозу.

Питання про те, яка максимальна доза іонізуючого випромінювання є допустима для людини, дуже складне і не має однозначної відповіді. Встановлено, що дія на організм протягом року в декілька зівертів (а це в порівнянні з природним фоном дуже велика доза) призводить до збільшення ймовірності появи у опроміненого різних типів захворювань, і із збільшенням дози, вірогідність появи цих хвороб підвищується.

Тут треба зауважити, що всі ми постійно знаходимось під впливом малих доз радіації, причому, коливання природного фону за амплітудою, яка у декілька разів перевищує середньостатистичну, ні на тривалість життя, ні на частоту захворювань практично не впливає. Це питання потребує більш детального вивчення. Як же йде справа з шкідливою дією від малих доз? Надійних даних про те, яку дію надають малі дози радіації (скажімо, на рівні від декількох мілізівертів до 20-50 мЗв на рік) на частоту появи захворювань, досі не існує.

Існує точка зору, яка полягає в тому, що залежність «доза - шкідливий ефект» має порогові значення доз. Якщо негативний характер впливу до певного значення дози не вдається виявити, то може бути інтерпретована як граничнодопустима. Деякі фахівці вважають, що існує пропорційна залежність: чим більше доза (яка б мала вона не була), тим вище частота можливих онкологічних захворювань протягом життя людини.

Нарешті, як не дивно, існує і така точка зору: малі дози, навіть якщо вони в 5-10 разів перевищують природний фон, корисні для організму і сприяють збільшенню тривалості життя. У прихильників кожної точки зору є певні аргументи на користь своїх позицій. Однозначний висновок зробити неможливо, дотепер прийнято вважати, що, чим менше доза іонізуючого опромінення, яку отримує людина – тим краще. Тому, при побудові службових розкладів та регламентів і документів, прагнуть всіляко знижувати дозу, що отримується організмом (наприклад, шляхом обмеження числа медичних обстежень в яких використовується рентгенівська техніка).

#### 4. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ РАДІОНУКЛІДИ

Джерелом іонізуючих випромінювань можуть бути різні радіонукліди. Ще раз нагадаємо, що нуклід - це вид атомів з певним числом протонів і нейтронів у ядрі. Якщо ядра атомів нукліда радіоактивні, то його називають радіонуклідом. До радіонуклідів, які розповсюдженні у навколишньому середовищі належать атоми важких хімічних елементів, таких як уран U і торій Th. Розпадаються уран і торій вельми повільно. Швидкість розпаду характеризується періодом напіврозпаду ( $T_{1/2}$ - час, за який розпадається половина наявної кількості ядер радіонукліду). Для природних радіонуклідів

$^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  і  $^{232}\text{Th}$  значення  $T_{1/2}$  складають відповідно  $4,47 \cdot 10^9$ ;  $7,04 \cdot 10^8$  і  $1,4 \cdot 10^{10}$  років.

Дочірні ядра, які виникають при радіоактивному розпаді материнських ядер, наприклад  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  і  $^{222}\text{Rn}$ , володіють значно меншими значеннями  $T_{1/2}$  (навіть до  $10^{-4}$  секунди за порядком величин). Дочірні радіонукліди, разом з материнськими, утворюють радіоактивні ряди, кінцеві продукти яких - стабільні атоми свинцю. Хоча величини періодів напіврозпаду  $T_{1/2}$  у випадках дочірніх радіонуклідів і досить малі, вони постійно спотворюються шляхом розпаду материнських ядер, а потім з постійною швидкістю знову розпадаються. Таким чином, в земній корі всі вони містяться в практично незмінних, хоча і в значно менших, у порівнянні з материнськими, кількостях.

Мобільність багатьох дочірніх радіонуклідів (наприклад, радону) в земній корі значно вища, ніж материнських. Тому такі радіонукліди в розсіяному стані присутні практично всюди. Іонізуюче випромінення дочірніх радіонуклідів вносить помітний внесок в радіаційний фон (фон іонізуючого випромінення) Землі. Особливо велика роль радіаційної дії на людину належить елементам, що входять до складу ряду  $^{238}\text{U}$  радіонукліду  $^{222}\text{Rn}$ .

Разом із радіонуклідами важких елементів, в природі існують радіонукліди деяких елементів, які належать до середини періодичної системи Д.І. Менделєєва. Найбільше значення серед них має  $^{40}\text{K}$  ( $T_{1/2}=1,29 \cdot 10^9$  років), який входить до складу суміші природних ізотопів калію. На його долю в ній припадає 0,012%. Калій є одним з найпоширеніших елементів у складі земної кори. Рослини засвоюють необхідний для їх життєдіяльності калій ( $^{40}\text{K}$ ) безпосередньо з ґрунту. Далі по харчових ланцюжках  $^{40}\text{K}$  потрапляє в організм тварин і людей.

Зміст радіонуклідів в об'ємі характеризують за допомогою їх активності. Одиниця активності - 1 бекерель (1 Бк), 1 Бк відповідає одному розпаду в 1с. В якості одиниці активності може бути використана така: 1 Кюрі (1 Кі), 1 Кі =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк. Деякі уявлення про середню активність  $^{40}\text{K}$  у воді, ґрунті і деяких продуктах харчування приведені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Питома активність (за  $^{40}\text{K}$ ) води, ґрунту і деяких продуктів харчування

Найменування	Бк/л або Бк/кг
Вода питна	0,1-0,3
Морська вода	6-12
Ґрунти	350-450

Продовження таблиці 4.1

Пшениця	90-110
Молоко	35-45
Коренеплоди, картопля	100-150
Фрукти	50-100
Овочі	40-240
М'ясо	80-120
Риба	90-110

Природні радіоактивні ізотопи виявлені не лише у калія, але і у таких елементах, як рубідій ( $^{87}\text{Rb}$ ), індій ( $^{115}\text{In}$ ), лантан ( $^{138}\text{La}$ ), у деяких лантаноїдів, у гафнію ( $^{174}\text{Hf}$ ), танталу ( $^{180}\text{Ta}$ ) і платини ( $^{190}\text{Pt}$ ). Величини  $T_{1/2}$  для таких радіонуклідів, зазвичай, великі і за порядком величин складають  $10^{12}$ - $10^{14}$  років. Тому радіоактивність речовин, які містять такі елементи, дуже низька, і їх іонізуюче випромінювання практично не впливає на живі організми. Таким чином, можна абсолютно не турбуватися, наприклад, про шкоду для здоров'я з боку платинового ювелірного виробу, який містить радіонуклід  $^{190}\text{Pt}$ .

Вказані природні радіонукліди мають земне походження (їх називають террогенними). Однак, існують і природні радіонукліди, що утворюються під впливом космічного випромінювання, яке постійно потрапляє на Землю, із космосу. Такі радіонукліди називають космогенними.

До складу природного космічного випромінювання входять протони високих енергій і ядра деяких легких елементів. При взаємодії космічного випромінювання з ядрами атомів, які присутні в атмосфері Землі, протікає багато ядерних реакцій. В результаті утворюються ядра нових легких елементів, а також мюони, нейтрони, рентгенівське і  $\gamma$ -випромінювання, які формують, так зване, вторинне космічне випромінювання (саме воно досягає поверхні Землі). За участю нейтронів із складу вторинного космічного випромінювання в атмосфері виникають, наприклад, радіоактивні ядра  $^{14}\text{C}$  ( $T_{1/2}=5730$  років), а також тритій  $^3\text{H}$  і  $^{32}\text{P}$ . Вплив на живі організми з боку вторинного космічного випромінювання є більш слабким, за дію первинного. Таким чином, атмосфера виступає у якості щита, який захищає життя на Землі від шкідливих посланців космосу. При проходженні космічного випромінювання крізь атмосферу відбувається іонізація молекул газу (повітря), так, що за класифікацією, воно може бути віднесене до іонізуючих типів випромінювань. Випромінювання террогенних і космогенних радіонуклідів, а також саме космічне випромінювання постійно впливає на всі живі істоти на нашій планеті.

У 40-х роках ХХ сторіччя в результаті розвитку ядерних технологій були створені ядерні реактори, в яких відбувається розщеплення ядер  $^{235}\text{U}$



(або  $^{239}\text{Pu}$ ) на ядра більш легких елементів. При роботі ядерних реакторів утворюються радіонукліди, які не існують в природному фоні (більше 40 елементів Періодичної системи). Ці радіонукліди називають техногенними. З 1945 року до початку 60-х років такі країни як США, СРСР, Великобританія, а пізніше Франція і Китай, провели велике число випробувань ядерної зброї, що призвело до забруднення техногенними радіонуклідами навколишнього середовища в глобальному масштабі. До попадання радіонуклідів в навколишнє середовище призвела і робота підприємств так званого ядерного паливного циклу (ЯПЦ). Ці підприємства виконують видобування уранових руд і виділення з них урану, здійснюють виготовлення тепловиділяючих елементів (твелів), будують, власне, ядерні реактори, а також заводи по переробці відпрацьованих твелів, евакуації з них радіоактивних відходів і регенерації ядерного палива.

Звичайно, ядерні реактори конструюють так, щоб запобігти потраплянню техногенних радіонуклідів в навколишнє середовище. Але навіть при безаварійній роботі реакторів в навколишнє середовище потрапляють радіоактивний газ криптон (радіонуклід  $^{85}\text{Kr}$ ), а також у невеликих кількостях  $^{131}\text{I}$ , тритію і деякі інші радіонукліди.

В результаті відбувається забруднення навколишнього середовища техногенними радіонуклідами, особливо такими, як  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ , а також радіонуклідами деяких трансуранових елементів (див.таб.4.2).

Таблиця 4.2. Найважливіші природні і техногенні радіонукліди, які обумовлюють радіаційний фон поблизу поверхні Землі

Природні радіонукліди		Техногенні радіонукліди
терригенні	космогенні	
$^{40}\text{K}$ , $^{210}\text{Po}$ , $^{222}\text{Rn}$ , $^{226}\text{Ra}$ , $^{232}\text{Th}$ , $^{235}\text{U}$ , $^{238}\text{U}$ и др.	$^3\text{H}$ , $^{14}\text{C}$ , $^{32}\text{P}$ и др.	$^3\text{H}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{85}\text{Kr}$ , $^{131}\text{I}$ , $^{137}\text{Cs}$ , $^{144}\text{Ce}$ , $^{239}\text{Pu}$ и др.

Можна зазначити, що до забруднення атмосфери радіонуклідами веде також робота теплових електростанцій, які спалюють кам'яне вугілля. Воно завжди містить невеликі домішки урану, торію і продуктів їх розпаду. При спалюванні палива ці радіонукліди у аерозольній фазі частково потрапляють до атмосфери. До забруднення ґрунту радіонуклідами може призводити, навіть, використання фосфорних мінеральних добрив. Домішки урану і торію завжди присутні в сировині, яку використовують при виробництві цих добрив (наприклад, в апатиті). При переробці сировини радіонукліди частково переходять у добрива, а з них потрапляють до ґрунту.

До забруднення техногенними радіонуклідами Світового океану призвело те, що у деяких країнах високорадіоактивні відходи ЯПЦ тривалий час утилізували в спеціальних контейнерах (США), або відкритим способом

по трубах (Великобританія). З цієї причини деякі моря, особливо Ірландське і Північне, зазнали помітного радіоактивного забруднення. Забруднення Світового океану може несприятливо позначитися, перш за все, на життєдіяльності фітопланктону, від нормального існування якого багато в чому залежить життя на Землі. Тому, на сучасному етапі, введені суворі обмеження на скидання в океан радіоактивних відходів.

Якщо  $^{239}\text{Pu}$ , що потрапив в навколишнє середовище міцно фіксується ґрунтами і практично не потрапляє до харчового ланцюжка, то такі радіонукліди, як  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  і особливо  $^{90}\text{Sr}$ , різними шляхами можуть потрапляти до організму людини. Деякі радіонукліди здатні концентруватися в організмі людини. Їх накопичення в різних органах (наприклад,  $^{90}\text{Sr}$  в кістках, а  $^{131}\text{I}$  в щитовидній залозі) може призвести до тяжких захворювань (наприклад, раку щитовидної залози).

## 5. БІОЛОГІЧНА ДІЯ ПРОДУКТІВ РАДІОАКТИВНОСТІ

Іонізуюче випромінення складає серйозну небезпеку для живих організмів Біосфери, особливо для людини. З цим видом фізичних полів потрібно виявляти особливу обережність, оскільки радіоактивність, не маючи кольору, запаху, смаку і т.ін. (тобто не сприймається органами чуття людини), здійснює шкідливий вплив на людський організм, який, навіть, може закінчитись летальним результатом.

Енергія іонізуючих випромінювань достатня, щоб викликати деструкцію атомних і молекулярних зв'язків у живій клітині, що часто призводить до її загибелі. Чим інтенсивніше протікає процес іонізації в живій тканині, тим більша біологічна дія випромінення на живий організм. В результаті складних біофізичних процесів, що виникають під впливом іонізуючих випромінювань, в організмі утворюються різного роду радикали, які, у свою чергу, можуть утворювати сполуки, які не притаманні здоровій тканині. Крім того, іонізуюча дія радіоактивності може викликати розщеплення молекул води на водень і гідроксильну групу, а це, в свою чергу, призводить до руйнуючих змін у біохімічних процесах. Під впливом іонізуючих випромінювань в організмі можуть відбуватися гальмування функцій кровотворних органів, пригнічення імунної системи і життєдіяльності статевих залоз, розлади шлунково-кишкового тракту, порушення обміну речовин, канцерогенні реакції і т.д. При розгляді біологічної дії радіоактивності розрізняють зовнішнє і внутрішнє опромінення. Зовнішнє опромінення кваліфікують у випадку, коли джерело радіації знаходиться поза організмом і продукти радіоактивності не потрапляють всередину організму. При цьому типу опромінення найбільш небезпечними є  $\beta$ -,  $\gamma$ -, рентгенівські і нейтронні промені. Цей випадок на

практиці реалізується при роботі на об'єктах, що використовують рентгенівське і  $\gamma$ -випромінення, радіоактивні речовини запаяні в ампулах і т.п.

Ступінь прояву негативних біологічних ефектів знаходиться в прямій залежності від дози опромінення, часу опромінення, його типу, індивідуальної особливості організму.

Перші ознаки хронічної поразки: сухість шкіри, поява виразок, випадіння волосся, ламкість нігтів. При гострому променевому опіку кистей рук з'являються пухирі, набряки, омертвіння тканини, виразки, що довго не загоюються, на місці яких можуть утворитись ракові пухлини.

При жорсткому зовнішньому рентгенівському опроміненні можливий летальний результат без видимих змін шкіряного покриву. В той час, як  $\alpha$  і  $\beta$  частинки викликають тільки шкіряні ураження внаслідок незначної проникаючої здатності цих типів опромінення.

Потрапляння радіоактивних продуктів всередину організму кваліфікується як внутрішнє опромінення, яке, в свою чергу, дуже небезпечне. При цьому відбувається ураження багатьох органів до тих пір, поки радіоактивна речовина розпадається, або виходить з організму в результаті фізіологічного обміну.

Шляхи потрапляння продуктів радіоактивного розпаду всередину організму наступні: дихальні шляхи, при питті, прийомі їжі, курінні. У окремих випадках внутрішнє опромінювання відбувається крізь шкіру.

Живі організми постійно піддаються опроміненню за рахунок природного фону (космічне випромінювання, радіоактивне випромінювання недр Землі, радіонукліди атмосфери, гідросфери, літосфери і т.д. і т.п.).

Середньорічна еквівалентна доза фонового радіоактивного опромінення складає близько  $240 \div 250$  мбер, при цьому:

- внутрішнє опромінення - приблизно 135 мбер;
- джерела земного походження - 35 мбер;
- космічне випромінювання - 30 мбер;
- рентгенодіагностика -  $35 \div 40$  мбер;
- інші -  $2 \div 5$  мбер.

Захворювання, спричинені дією іонізуючих випромінювань, діляться на дві групи: гострі і хронічні.

Гостре променеве ураження виникає при опроміненні великими дозами за короткий час.

Протікання гострої променевої хвороби, в основному, відбувається учотири стадії:

- первинна реакція (через декілька годин після опромінення з'являється нудота, запаморочення, блювота, прискорений пульс, лейкоцитоз, слабкість і т.п.);

- прихована стадія (чим коротше ця стадія, тим важче результат хвороби) або стадія видимого благополуччя;
- стадія розпалу захворювання (нудота, блювота, сильне нездужання, висока температура (40-41<sup>0</sup>C), кровотеча з ясен, носа і внутрішніх органів, різке зниження кількості лейкоцитів);
- стадія летального результату (можливість одужання існує!).

Хронічна променева хвороба виникає при опроміненні малими дозами протягом тривалого часу і буває як загальною, так і місцевою. Розвиток хвороби відбувається в прихованій формі.

Розрізняють три ступені хронічної хвороби:

- легкий ступінь (незначні головні болі, слабкість, порушення апетиту і сну);
- другий ступінь хронічної променевої хвороби (посилення симптомів першого ступеня, порушення обміну речовин, серцево-судинні зміни, кровоточивість, розлад органів травлення і т.п.);
- третій ступінь променевої хронічної хвороби (порушення діяльності статевих залоз, зміни в центральній нервовій системі, випадіння волосся і т.п.).

При одноразовому загальному опроміненні можуть спостерігатися наступні наслідки:

- менше 50 бер - відсутність клінічних симптомів;
- 50-100 бер - незначне нездужання;
- 100-200 бер - легкий ступінь променевої хвороби;
- 200-400 бер - важкий ступінь променевої хвороби;
- 600 бер і більше - максимально важкий ступінь (часто з летальним результатом).

Встановлено, що різні види іонізуючого випромінення впливають на організми по-різному. Характер дії в значній мірі залежить від того, чи потрапляє радіонуклід всередину організму (тобто організм піддається внутрішньому опроміненню), або ж він розташований і діє поза його межами (зовнішнє опромінювання).

Розглянемо спочатку, в чому полягає дія на організм  $\alpha$  – частинок.  $\alpha$  – частинки (ядра  ${}^4_2\text{He}$ ), внаслідок свого відносно великого заряду (+2) і великої маси, відчувають часті зіткнення з молекулами і атомами середовища і розтрачують всю енергію вже навіть на невеликому шляху. Тому довжина пробігу  $\alpha$  – частинок у повітрі не перевищує 10 см, а шлях, який вони проходять в тканинах людини, складає десяті долі міліметра. Зрозуміло, що якщо джерело  $\alpha$  – частинок розташоване, наприклад, на відстані 1 м від людини, то до нього вони просто не долетять, яка б не була велика активність джерела. Тому роль  $\alpha$  – радіоактивних нуклідів в зовнішньому опроміненні організму майже не відчутна.

Але якщо такий радіонуклід потрапив всередину організму (з повітрям, водою або їжею), то вся енергія  $\alpha$  – частинок буде витрачена на невеликому відрізку, причому, молекули, що зустрілися на їхньому шляху, будуть зруйновані (перетворюються на іони або нейтральні, хімічно дуже активні частинки, вільні радикали). Вільні радикали вступають в нові хімічні реакції з молекулами, які входять до складу організму. Ці реакції носять ланцюжковий характер. В результаті, в організмі накопичуються помітні кількості чужорідних, часто сильно отруйних речовин. Звичайно, проходження крізь організм однієї або навіть десяти  $\alpha$  – частинок не завдасть суттєвої шкоди (дуже мало число вільних радикалів і іонів при цьому утворюється). Але якщо кількість ядер  $\alpha$  – радіонукліда, що потрапили в організм, велика, може наступити його суттєве пошкодження у вигляді - променевої хвороби.

Важливе значення має і те, що при проходженні  $\alpha$  – частинок через клітини організму (між іншим, схожу дію створюють  $\beta$  - частинки, а також  $\gamma$  - промені) в них можуть відбуватися порушення (мутації) спадкових структур. Ці порушення можуть стати причиною онкологічних і спадкових захворювань.

$\beta$  - частинки можуть завдавати шкідливу дію організму навіть при зовнішньому опроміненні (коли радіонуклід знаходиться поза межами організму). Довжина пробігу  $\beta$  - частинок в тканинах організму значно більше, ніж у  $\alpha$  – частинок. При цьому пошкоджені молекули розташовуються не так близько одна до одної, як у разі дії  $\alpha$  – частинок. При однаковому числі пронизуючих організм частинок обох видів і їх однаковій початковій енергії шкода від дії  $\beta$  - частинок є меншою.

$\gamma$  - промені мають набагато вищу проникаючу здатність у порівнянні з попередніми видами випромінювань. Вони проходять крізь тканини тіла на значно більші відстані, чим  $\alpha$  - або  $\beta$  - частинки. Тому, якщо джерело  $\gamma$  - випромінювання знаходиться всередині організму, воно поглинається, зазвичай, тільки частково (спричиняючи при поглинанні в речовині ті ж руйнування, що і  $\alpha$  – або  $\beta$  – випромінення). Деякий відсоток  $\gamma$  - випромінювання покидає організм. Зрозуміло, що ця його частина шкідливої дії організму не завдає. Негативний вплив від  $\gamma$  - випромінення у великій мірі може виявитися при зовнішньому опроміненні, навіть тоді, коли джерело розташовано від організму на великій відстані, або відокремлено, наприклад, за бетонною стіною.

З вище сказаного зрозуміло, що шкідлива дія іонізуючого випромінення обумовлена тим, що його енергія передається організму. А якщо випромінення проходить крізь організм, не втрачаючи в ньому енергії, то ніякої шкідливої дії воно не чинить. Саме таким чином поведуться нейтрино  $\nu$  і антинейтрино  $\bar{\nu}$ , які виникають при перетвореннях нейтронів на

протони. Згідно із сучасними уявленнями, кожного з нас постійно пронизують могутні потоки нейтрино і антинейтрино, але ніякої (спостережуваної) дії на живі організми вони не спричиняють.

## 6. НОРМУВАННЯ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ І СПОСОБИ ЗАХИСТУ ВІД НИХ.

Гранично допустимі рівні іонізуючих випромінювань встановлюються «Нормами радіаційної безпеки України» (НРБУ-97) і гігієнічними нормативами ГН 2.6.1.054-96. Ці документи є основними правовими актами в області радіаційної безпеки в нашій країні.

НРБУ-97 встановлюють систему радіаційно – гігієнічних регламентів для забезпечення прийнятих рівнів опромінення, включають визначення і термін радіаційної безпеки, встановлюють основні дозові межі, гранично допустимі концентрації радіоактивних речовин в повітряній зоні, у воді відкритих водоймищ, допустимий вміст радіоактивних речовин в органах і т.п.

На підставі нормативних вимог встановлюють порядок проведення робіт з джерелами іонізуючих випромінювань і забезпечення ліквідації радіоактивних відходів.

Норми радіаційної безпеки засновані на наступних принципах:

- не перевищувати встановлену граничну межу;
- виключити необґрунтоване опромінення;
- зменшити дозу опромінення до якомога низького рівня.

Відповідно до НРБ встановлені наступні категорії опромінення осіб:

- категорія А (персонал) - особи, що постійно або тимчасово працюють з джерелами іонізуючих випромінень;
- категорія Б - обмежена частина населення, що проживає поряд з підприємствами, на яких знаходяться радіоактивні джерела;
- категорія В - решта населення країни.

У табл. 6.1 наведені дозові межі зовнішнього і внутрішнього опромінення для категорій А і Б

Таблиця 6.1. Дозові межі опромінення для категорій А і Б.

Дозові межі, бер/год	Група критичних органів		
	I	II	III
Гранично допустима доза (ГДД) для категорії А	5	15	30
Гранично допустима доза (ГДД) для категорії Б	0,5	1,5	3

Різні органи людей (і тварин) мають певну чутливість до іонізуючих випромінень. Відповідно до цього встановлено три групи критичних органів:

I - все тіло, гонади і червоний кістковий мозок;

II - м'язи, жирова тканина, щитовидна залоза, печінка, нирки, селезінка, шлунково-кишковий тракт, легені, кришталик ока і ін. органи (за винятком тих органів, які відносяться до I і III груп);

III - шкіряний покрив, кісткова тканина, кисті, передпліччя, стопи.

Гранично допустима доза (ГДД) є найбільшою мірою індивідуальної еквівалентної дози за рік, при якій не виникає несприятливих (негативних) явищ в організмі протягом 50 років безперервної роботи.

Еквівалентна доза  $H$  (у Зв або бер), накопичена в критичному органі за час  $T$  з початку роботи з джерелами, не повинна перевищувати величини  $H = ГДВ \cdot T$ .

Для забезпечення радіаційної безпеки слід додержуватися наступних загальних принципів захисту:

- не перевищувати гранично допустимі дози;
- застосовувати захисні екрани, що ослабляють іонізуючі випромінювання;
- використовувати засоби індивідуального захисту;
- застосовувати справні прилади індивідуального і загального контролю для визначення інтенсивності радіоактивного опромінення;
- виконувати технічні, санітарно-гігієнічні і лікувально-профілактичні заходи.

Вибір захисного екрану слід проводити залежно від виду іонізуючого випромінювання.

Для захисту від  $\alpha$  – випромінювання застосовують екрани зі скла, плексигласу завтовшки в декілька міліметрів (еквівалент шару повітря в декілька сантиметрів).

У разі  $\beta$  – випромінювання використовують матеріали з малою атомною масою (наприклад, алюміній), а частіше комбіновані (поблизу джерела - матеріал з малою, а на відстані від джерела - з більшою атомною масою).

Для захисту від  $\gamma$  – випромінень застосовують матеріали з великою атомною масою і високою щільністю (свинець, вольфрам), а також більш дешеві матеріали і сплави (сталь, чавун). Стаціонарні екрани виконують також з бетону.

Для захисту від нейтронного опромінювання застосовують берилій, графіт і матеріали, що містять водень (парафін, вода). Широко застосовуються бор і його сполуки для захисту від нейтронних потоків з малою енергією.

У разі дії  $\gamma$  – випромінювання і нейтронних потоків застосовуються комбіновані екрани (свинець - вода, свинець - поліетилен, залізо - вода і ін.).

При розрахунках захисних екранів слід враховувати:

- вид випромінювання і його спектральні характеристики;
- енергетичні характеристики іонізуючого випромінювання;
- час дії випромінювання (експозицію);

- режим роботи джерела випромінення (безперервний, імпульсний, квазібезперервний), частоту повторення імпульсів і т.п.;
- спрямованість випромінення;
- геометрію іонізуючого випромінення;
- відстань від джерела до персоналу;
- конструктивні особливості установок і джерел іонізуючого випромінення;
- довідкові дані, які дозволяють визначати поглинаючі властивості різних матеріалів і екстинкцію (ослаблення) іонізуючого випромінення в них.

## 7. ЗАСОБИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАХИСТУ

При роботі з радіонуклідами має використовуватися спецодяг. У разі забруднення робочого приміщення радіоактивними ізотопами, поверх бавовняного комбінезона треба одягати плівковий одяг (халат, костюм, фартух, брюки, нарукавники).

Спеціальний одяг виготовляється з пластикових або гумових тканин, що легко очищаються від радіоактивного забруднення. В разі застосування плівкового одягу, необхідно передбачити можливість його вентиляції.

При роботі з відкритими джерелами, з активністю більше ніж 10 мкКі, застосовують рукавички з гуми із додаванням свинцю, з гнучкими нарукавниками. Спеціальні пневмокостюми застосовуються у разі проведення ремонтно-профілактичних робіт, при яких очікуються великі радіаційні забруднення. Такий спецодяг забезпечується примусовим піддувом повітря та є ефективним і надійним захистом при роботі з радіоактивними речовинами.

До комплекту спецодягу входять: респіратори, пневмошлеми та інші засоби індивідуального захисту.

Для захисту очей слід застосовувати окуляри, які містять фосфат вольфраму або свинець.

При використанні індивідуальних засобів захисту необхідно дотримуватися послідовності у їх надяганні, а також зняті.

Необхідно забезпечити систематичний дозиметричний контроль рівнів опромінення, який є суттєвим чинником у здійсненні системи радіаційної безпеки.

## 8.ЗБЕРІГАННЯ,ПЕРЕВЕЗЕННЯ І ЛІКВІДАЦІЯ ВІДХОДІВ РАДІОАКТИВНИХ ПРОДУКТІВ.

Кількість радіоактивних речовин, що знаходяться в лабораторних приміщеннях, повинна відповідати умові забезпечення добової норми опромінення персоналу і не перевищувати її. Матеріали, які є  $\alpha$  – і  $\beta$  –



активними, дозволяється зберігати в спеціальних залізних сейфах. Радіоактивні речовини, що мають  $\gamma$  - випромінення, повинні зберігатися в свинцевих контейнерах. При активності понад 200 мг-екв Ra контейнери з радіоактивною речовиною повинні зберігатися в спеціальних колодязях (1 мг-екв Ra=8,4 Р/ч). Занурення і виймання контейнерів з колодязів повинні проводитись механізованим засобом.

Радіоактивні продукти, що виділяють газ або аерозолі, слід зберігати у витяжних шафах, які мають працювати цілодобово.

Радіоактивні речовини повинні обов'язково враховуватися при складанні штатних та супровідних документів. Контроль використання радіоактивних матеріалів повинен бути повсякденним.

Видача радіоактивних речовин проводиться відповідальними особами, з дозволу керівника підрозділу, оформленого письмово.

Транспортування радіоактивних речовин проводиться в спеціальних контейнерах. Рідкі радіоактивні відходи слід розділяти на концентровані (їх збирають окремо) і розбавлені. Останні можна зливати в спеціально обладнану скидну систему.

Тверді відходи слід так само розділяти за активністю. Кращою системою утилізації відходів, безумовно, є централізована (державна).

В рамках такої системи схову для радіоактивних відходів мають бути організовані спеціальні пункти, обладнані бетонними могильниками, спеціальними майданчиками для очищення. Такі пункти розташовуються не ближче 20 км від міста. Територія пункту поховання обноситься огорожею з попереджувальними знаками.

Такий об'єкт (державне підприємство Радон), зокрема, розташований поблизу Одеси.

## 9. МЕТОДИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ І РЕЄСТРАЦІЇ ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЕНЬ

На сучасному етапі створена різноманітна і ефективна техніка для спостереження і реєстрації елементарних частинок і ядерних процесів. До числа таких приладів можна віднести лічильники Гейгера - Мюллера, сцинтиляційні лічильники, електронно-оптичні перетворювачі (ЕОП), камери Вільсона, бульбашкові камери, ядерні емульсії, напівпровідникові детектори і інша оптично-електронна і радіоелектронна апаратура, коротко зупинимося на деяких з них.

Газорозрядний лічильник Гейгера - Мюллера (ГСГ-М). Є скляною трубкою, внутрішня поверхня якої покрита металевим напиленням (катод). Вздовж вісі трубки проходить запаяна металева нитка (анод). Газове наповнення трубки - аргонове. В основі механізму дії ГСГ-М лежить ударна (лавиноподібна) іонізація.

Частинка, яка підлягає реєстрації (електрон,  $\alpha$  - частинка), пролітає в розрідженому газі, викликає початкову іонізацію, з подальшою появою вільних електронів. Останні, під дією електричного поля між катодом і анодом, викликають лавиноподібно наростаючу ударну іонізацію (лавинний процес). Простір трубки, таким чином, іонізується і стає електропровідним. Крізь простір газорозрядної трубки, між катодом і анодом, протікає короткий імпульс струму, який водночас протікає через деякий опір навантаження  $R$ . На опорі навантаження виникає імпульс напруги, який далі підсилюється, за допомогою імпульсного підсилювача і потрапляє в реєструючий пристрій. При проходженні імпульсу струму через навантаження  $R$ , велика напруга, що виникає сприяє різкому зниженню напруги між анодом і катодом, і розряд в газорозрядній трубці припиняється («загасає»).

ГСГ-М, в основному, застосовуються для реєстрації електронів.

Сцинтиляційні лічильники (СЛ) використовуються для реєстрації  $\gamma$ -квантів і нейтронів.

При потраплянні в сцинтилятор реєстрованих частинок, вони викликають спалах сцинтилятору, який за допомогою світловода транспортується на фотокатод ФЕУ. Світловий сигнал підсилюється і потрапляє з фотокатоду до реєструючого пристрою. В якості сцинтиляторів використовуються спеціальні кристали, пластики, що реагують на зіткнення з частинкою світловим спалахом (випусканням світлових фотонів).

Камера Вільсона (КВ) дозволяє спостерігати і фотографувати треки заряджених частинок, і вимірювати суттєві параметри радіоактивних процесів.

Трек є видимою траєкторією пролітаючої швидкої зарядженої частинки, яка виявляється за рахунок конденсації крапель рідини із перенасиченої пари. При чому:

- по довжині треку можна оцінити енергію частинки;
- по числу крапельок на одиниці довжини можна оцінити швидкість частинки;
- по напрямку «викривлення» траєкторії при проходженні частинки в магнітному полі визначається знак заряду (позитивний або негативний);
- по величині радіусу кривизни визначають відношення заряду до маси частинки;
- по характеру сузір'я треків одиничного процесу визначають взаємоперетворюваність частинок, продукти взаємодії і т.д.

Камеру Вільсона використовують також для досліджень інших характеристик. Механізм дії камери Вільсона, як ми розглянули вище, полягає в конденсації перенасиченої пари на іонах, утворених пролітаючою частинкою.

Навідміну від камери Вільсона бульбашкова камера наповнена перегрітою рідиною, що знаходиться в початковому стані під високим тиском. При різкому падінні тиску рідина виявляється нерівноважною. Частинки, що пролітають в цей час, викликають появу треків, що складаються з бульбашок пари. В якості рідини застосовують рідкий водень або пропан. Інтервал робочого циклу складає приблизно десятку частку секунди. Перевага бульбашкової камери перед камерою Вільсона полягає в можливості спостереження серії послідовних процесів.

## 10. РОЗПОДІЛ РАДІОНУКЛІДІВ НА ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ. РАДІАЦІЙНІ АВАРІЇ.

З різних причин на одних ділянках земної кори вміст природних радіонуклідів вищий, в той час як на інших - нижчий. Через це фон на поверхні Землі помітно неоднорідний. Окрім природних радіонуклідів в результаті випробування ядерної зброї, роботи підприємств ЯПЦ і аварій, що відбувалися на ядерних об'єктах, по всій поверхні Землі, включаючи поверхню океану, поширились і техногенні радіонукліди.

Розглянемо, стисло, в чому полягають, наприклад, причини забруднення радіонуклідами навколишнього середовища, навіть при нормальній (безаварійній) роботі підприємств ЯПЦ. Спочатку, з надр Землі видобувають уранову руду. Потім її дроблять. Сучасні уранові руди часто містять менше 0,5 % урану. Досягти повного виділення урану з таких збіднених руд не можливо. В результаті, на поверхні Землі виникають величезні відвали перероблених руд, так звані хвости. Для забезпечення штатного режиму роботи ядерного реактора, потужністю в 1 ГВт протягом року, потрібно переробити стільки руди, що об'єм відповідних хвостів, що утворюються, перевищує  $3 \times 10^5$  м<sup>3</sup>. За сучасними даними, загальний об'єм уранових хвостів, наприклад, в США вже перевищує 0,14 км<sup>3</sup>!

Для навколишнього середовища шкідливо не лише те, що уран при цьому розповсюджується на поверхні Землі і його випромінення впливає на людину, але й тим, що при цьому також посилюється перехід небезпечного дочірнього <sup>222</sup>Rn в атмосферу. При вітровій ерозії уран потрапляє у вигляді аерозолів в повітря, вимивається дощами (особливо сильно сучасними кислотними) і потрапляє на ті ділянки поверхні, де його раніше не було. До того ж в хвостах, які залишаються після екстракції урану виявляється багато дочірніх продуктів розпаду урану, які серйозно забруднюють навколишнє середовище.

Навіть при нормальній (штатній) роботі ядерних реакторів в атмосферу постійно потрапляє радіонуклід <sup>85</sup>Kr (T<sub>1/2</sub>=10,72 року). Криптон - це інертний газ, його важко ізолювати, зв'язавши в яку-небудь хімічну сполуку. В результаті, <sup>85</sup>Kr змішується з атмосферним повітрям. Окрім <sup>85</sup>Kr при штатній

роботі реактора в навколишнє середовище потрапляють також тритій  $^3\text{H}$ , йод  $^{131}\text{I}$  і деякі інші радіонукліди.

Розповсюдженню техногенних радіонуклідів на поверхні Землі сприяє також відсутність стовідсотково надійних засобів утилізації та схову радіоактивних відходів, що утворюються на підприємствах ЯПЦ. Хоча високорадіоактивні відходи і перевозять для безпечного зберігання в зручні форми, наприклад, змішуючи з цементом з утворенням твердого бетону, повністю запобігти переходу радіонуклідів з цих матеріалів в навколишнє середовище не вдається.

До особливо тяжких наслідків, з погляду розповсюдження техногенних радіонуклідів по поверхні Землі, приводять аварії, які відбувалися на ядерних реакторах (наприклад, аварія в Уіндській, Великобританія, 1957 рік, аварія на Тримильному острові в США, 1979 рік, і особливо аварія на Чорнобильській АЕС в СРСР в 1986 році), а також аварія в місцях зберігання радіоактивних відходів (Киштим, СРСР, 1957 рік).

В результаті Чорнобильської аварії, яка мала характер глобальної катастрофи, великі площі України, Білорусії і Росії (головним чином в Брянській області) виявились сильно забрудненими радіонуклідами. Всього в атмосферу тоді потрапило близько 300 різних радіонуклідів, зокрема  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ . Слід від аварії простягнувся від Фінляндії і Швеції до Грузії і Туреччини. Всіх цікавить питання яка зараз ситуація з радіонуклідами, що потрапили в навколишнє середовище в результаті цієї аварії?

Зрозуміло, що в навколишнє середовище потрапили порівняно короткоживучі радіонукліди ( $^{131}\text{I}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ) які вже повністю розпались. Основні довгоживучі радіонукліди  $^{90}\text{Sr}$  і  $^{137}\text{Cs}$  з талими водами, потоками дощової води, частково перейшли в річки і опинились в донних відкладах.  $^{137}\text{Cs}$  схильний до міграції на поверхні Землі, значно слабкіший, ніж  $^{90}\text{Sr}$ . Він виявляється міцно пов'язаним з ґрунтом, мулом, глиною. Значно краще мігрує в ґрунтах  $^{90}\text{Sr}$ , внаслідок утворення розчинного у воді гідрокарбонату Sr ( $\text{HCO}_3$ )<sub>2</sub>). Тому, на теперішній час, найбільшу небезпеку складає попадання з харчовими продуктами в організм людини саме  $^{90}\text{Sr}$ , хоча в окремих місцях зберігаються і небезпечні рівні забруднення  $^{137}\text{Cs}$ .

Вивченням розподілу радіонуклідів на поверхні Землі і виявленням зв'язку цього розподілу з дією іонізуючого випромінювання на живі організми, займається радіоекологія - наука, що розвинулась в останні десятиліття на стику фізики, біології і радіохімії.

## 11. РАДІАЦІЯ І ЖИТТЯ

Коли мова заходить про радіацію і її вплив на все живе на Землі, панує думка, що від радіації одні неприємності. Звичайно, при невмілому поводженні з джерелами іонізуючих випромінювань, природними і техногенними радіонуклідами, здоров'ю кожної окремої людини і людству в цілому можуть бути нанесені істотні пошкодження.

Разом з тим, не можна не враховувати і того, що мутації, зумовлені природними радіонуклідами, які спостерігались в ході розвитку життя на Землі, сприяли еволюції видів. Існує точка зору, що саме виникнення життя на Землі було б неможливим без дії іонізуючих випромінювань.

Земні організми адаптувались до коливань природного фону. Наприклад, середня тривалість життя, в деяких місцях з підвищеним фоном, виявляється помітно більшою, ніж в регіонах з низьким природним фоном. Сучасний внесок техногенних радіонуклідів до величини середньої ефективної дози, незначний і складає декілька відсотків. Він значно менший за внесок тільки від природного  $Rn^{222}$ .

Треба підкреслити, що шкідливий вплив на здоров'я від всіх техногенних радіонуклідів для жителів Землі менше тієї шкоди, яку завдає така шкідлива звичка як табакокуріння. Можна сподіватись, що надалі будуть розроблені менш небезпечні, ніж сучасні, процеси отримання ядерної енергії і надійніші способи поводження з високорадіоактивними відходами, так, що навіть потенційна шкода від використання радіонуклідів буде практично виключена.

### Висновок

Читач може задовольнити свій інтерес до предмету, якому присвячений конспект лекцій, за допомогою додаткової літератури ([1-18]), що вміщує чисельні приклади, та поширену додаткову інформацію стосовно питань, які складають зміст дисципліни.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов О.І. Элементы физики доккілля: Навчальний посібник. – Одеса: Вид-во ”ТЭС”, 2004. – 144 с.
2. Герасимов О.І., Кільян А.М. Элементы физики доккілля: Радіоекологія (конспект лекцій). – Одеса: ОДЕКУ, 2003. – 134 с.
3. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99). М.: Центр сан.-эпидемиол. нормування, гігієни, сертифікації і експертизи Мінохорони здоров'я Росії, 1999.116.
4. Хол Е. Дж. Радиация і життя: Пер. з англ. М.: Медицина, 1989. 256 з.
5. Сапожников Ю.А., Бердоносое С.С. Радиоэкология//Химическая энциклопедія. М.: БРЕ, 1995. Т.4. З. 173.
6. Нормы радиационной безопасности Украины –1997 г.
7. Допустимые уровни загрязнений продуктов питания ДР-97.
8. Машкович В.П. Защита от ионизирующих излучений: Справочник – 3-е изд. М.: Энергоиздат, 1982.
9. Защита от ионизирующих излучений. Т.1. Физические основы защиты от излучений: Учебник для вузов/ Н.Г. Гусев, В.А. Климанов, В.П. Машкович, А.П. Суворов; под ред. Н.Г. Гусева – 3-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат,1988.
10. Защита от ионизирующих излучений. В 2-х т. Т.2. Защита от излучений ядерно-технических установок: Учебник для вузов/ Н.Г. Гусев, Е.Е. Ковалев, В.П. Машкович, А.П. Суворов; под ред. Н.Г. Гусева – 3-е изд., перераб.и доп. М.: Энергоатомиздат,1990.
11. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Квантовое излучение радиоактивных нуклидов: Справочник. М.: Атомиздат, 1977.
12. Гусев Н.Г., Дмитриев П.П. Радиоактивные цепочки: Справочник. – 2-е изд. М.: Энергоатомиздат,1988.
13. Характеристики излучений радиоактивных нуклидов, применяемых в народном хозяйстве / Ю.В. Хольнов, В.П. Чечев Ш.В., Камынов. М.: Атомиздат, 1980.
14. Защита от излучения протяженных источников / Н.Г. Гусев, Е.Е. Ковалев, Д.П. Осанов, В.И. Попов, М.: Госатомиздат, 1961.
15. Бергельсон Б.Р., Зорикоев Г.А. Справочник по защите от излучений протяженных источников. М.: Атомиздат, 1965.
16. Бета-излучение продуктов деления: Справочник / В.М. Колобашкин, П.М. Рубцов, В.Г. Алексанкин, П.А. Ружанский. М.: Атомиздат, 1978.
17. Радиационная защита: Публикация 2 МКРЗ: Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1973.
18. Человек. Медико-биологические данные: Публикация 23 МКРЗ: Пер с англ. М.: Медицина. 1977.

19. Радиационная защита: Публикация 26 МКРЗ: Пер. с англ. М.: Атомиздат, 1978.
20. Пределы поступления радионуклидов для работающих с радиоактивными веществами: Публикация 30 МКРЗ: Пер. с англ. В 2-х ч. М.: Энергоиздат, 1982, ч. 1; ч.2.
21. Д. Райли, Н. Энслин, К. Смит,мл, С. Крайнер Пассивный неразрушающий анализ ядерных материалов: Пер. с англ. – М.: ЗАО «Издательство Бином», 2000. – 720 с.; ил.

## **Етимологічний словник до конспекту лекцій з Радіоекології**

### **АВАРІЙНИЙ ВИКИД**

Надходження забруднюючих речовин в навколишнє середовище в результаті порушення технологічного процесу або аварії.

### **АВАРІЯ**

Надзвичайна подія, що відбувається з техногенних (конструктивних, виробничих, технологічних і експлуатаційних) причин, а також через випадкові зовнішні дії, що полягають у пошкодженні, виході з ладу, руйнуванні технічних пристроїв або споруд.

### **АВАРІЯ РАДІАЦІЙНА**

Порушення в роботі радіаційно-небезпечного об'єкта, при якому відбувся вихід радіоактивних речовин за межі санітарно-захисної зони об'єкта в кількостях, що призводять до радіоактивного забруднення прилеглої території і можливого опромінення проживаючого на ній населення вище встановлених норм.

### **АКУМУЛЯЦІЯ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ В ОРГАНІЗМІ**

Накопичення радіоактивних ізотопів у живих організмах, що підкоряється загальним біологічним закономірностям. Радіоізотопи поведуться в організмі як стабільні ізотопи даного хімічного елемента. Специфіка накопичення виявляється не тільки в органах (напр., радіоактивний йод акумулюється в щитовидній залозі, радіоактивний кальцій і стронцій – в кістковій тканині, сірка - в шкірі і т.д.), але і в окремих структурах тканин.

### **АКТИВНІСТЬ**

Міра радіоактивності. Відношення числа радіоактивних розпадів, що відбуваються в джерелі за інтервал часу. Одиниця вимірювання СІ - бекерель, Бк.

### **АЛЬФА-розпад**

Випускання альфа-частинок атомними ядрами внаслідок радіоактивного самодовільного розпаду. В результаті альфа-розпаду "материнське" ядро із зарядом  $Z$  і масовим числом  $A$  перетворюється на нове "дочірнє" ядро із зарядом  $Z - 2$  і масовим числом  $A - 4$ .

### **АНОМАЛІЇ РАДІОАКТИВНІ**

Перевищення природного радіаційного фону на якій-небудь ділянці земної поверхні або в окремій точці. Можуть бути обумовлені підвищеною кількістю радіоактивних ізотопів елементів в гірських породах, воді і повітрі.

### **АТОМ**

Найменша частинка хімічного елемента, що є носієм його хімічних властивостей. Кожному елементу відповідає певний рід атому. Атом складається з позитивно зарядженого ядра і негативно заряджених електронів, утворюючих електронну оболонку навколо нього. Розмір його - близько  $10^{-8}$  см, розмір ядра - близько  $10^{-13}$  см.



## **АТОМНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ (АЕС)**

Електростанція, на якій атомна (ядерна) енергія перетворюється на електричну. На АЕС теплота, що виділяється в ядерному реакторі, використовується для отримання водяної пари, яка обертає турбогенератор.

## **ЛИХО ЕКОЛОГІЧНЕ**

Надзвичайна подія, спричинена зміною під дією антропогенних чинників стану суші, атмосфери, гідросфери і біосфери, яка полягає в прояві різкого негативного впливу цих змін на здоров'я людей, їх духовну сферу, місце існування, економіку.

## **БЕЗПЕКА РАДІАЦІЙНА**

Комплекс науково обґрунтованих заходів щодо забезпечення захисту від іонізуючого випромінювання, який включає розробку критеріїв за оцінкою небезпеки іонізуючого випромінювання для окремих груп людей, а також популяції в цілому і природних об'єктів навколишнього середовища; способи і методи оцінки радіаційної обстановки, її контролю і прогнозування; проектні, технічні, медико-санітарні і організаційні заходи, що забезпечують безпечні умови використання іонізуючого випромінювання у сфері людської діяльності.

## **БЕККЕРЕЛЬ**

Одиниця активності нукліда (ізотопу) в радіоактивному джерелі. 1 Бк дорівнює активності нукліда, при якій за 1 с відбувається 1 акт радіоактивного розпаду.

## **БЕТА-РОЗПАД**

Самовільне перетворення ядер, що супроводжується випусканням (або поглинанням) електрона і антинейтрона або позитрона і нейтрона. Відомо три види бета-розпаду: електронне (перетворення нейтрона на протон), позитронне (протона в нейтрон) і електронне захоплення. При електронному бета-розпаді заряд ядра збільшується на 1, при позитронному - зменшується на 1; масове число при цьому не міняється.

## **ВТРУЧАННЯ ПРИ РАДІАЦІЙНІЙ АВАРІЇ**

Заходи (дії), направлені на запобігання або зниження несприятливих наслідків опромінення або комплексів несприятливих наслідків радіаційної аварії, вживані, як правило, не до джерела випромінювання, а до навколишнього середовища і/або людини.

## **ВІДНОВЛЕННЯ РАДІАЦІЙНЕ ДЛЯ ПОСТА**

Здатність організму, ураженого іонізуючим випромінюванням, до одужання, відновлення структури і функцій. Відновлення відбувається на всіх рівнях і включає різноманітні процеси, здійснені різними механізмами (наприклад, відновлення клітин або видалення їх разом з пошкодженими тканинами, реакції компенсації і ін.).

## **ВИТРИМКА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

Зберігання радіоактивних відходів для зменшення активності за рахунок природного розпаду радіонуклідів.

## **ГАЗИ РАДІОАКТИВНІ**

Радіонукліди, що знаходяться в газоподібному стані. Г.Р. утворюються при розпаді природних радіонуклідів групи урану, торію, актинію, роботі ядерних реакторів і прискорювачів заряджених частинок, ядерних вибухах, виробництві деяких радіоактивних ізотопів. Г.Р. постійно присутні в атмосфері.

## **ГАММА-ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Короткохвильове електромагнітне випромінювання, що випускається збудженими продуктами радіоактивного розпаду при переході на нижчі енергетичні рівні. Супроводжує практично всі види радіоактивності.

## **ГРУПИ РАДІАЦІЙНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РАДІОНУКЛІДІВ**

Характеристика токсичності радіонукліда як потенційного джерела внутрішнього опромінення. Виділені чотири Г.р.н. р. - А, Б, В і Г. Група А - радіонукліди особливо високої токсичності (свинець - 210, торій -230, плутоній - 238 і ін.); група Б - радіонукліди з високою токсичністю (йод - 131, стронцій - 90, уран-235 і ін.); група В - радіонукліди з середньою токсичністю (цезій - 137, натрій - 22, кальцій - 45 і ін.);група Г - радіонукліди з найменшою токсичністю (вуглець - 14, залізо - 55, хром - 51 і ін.). Токсичність залежить від виду і енергії випромінювання, періоду напіврозпаду; фізико-хімічних властивостей речовини, у складі якої радіонуклід потрапляє в організм; типу розподілу по тканинах і органах і швидкості виведення з організму.

## **ДЕЗАКТИВАЦІЯ**

Видалення радіоактивних речовин з поверхні різних об'єктів. Є одним з основних заходів щодо протирадіаційного захисту. Для дезактивації застосовують механічний (видалення поверхневого шару радіоактивного забруднення шляхом зрізання, обробки за допомогою піскоструменевих апаратів і т.д.), фізико-хімічний (розбавлення, перегонка, осадження, іонообмінне поглинання радіоактивних речовин з розчинів, використання спеціальних фільтруючих матеріалів для очищення повітря, розчинів, що дезактивують, і т.п.) і біологічний (сорбція радіоактивних речовин ґрунтом, активним мулом, планктоном і т.п.) методи.

## **ДІЯ ІОНІЗУЮЧОЇ РАДІАЦІЇ ГЕНЕТИЧНА**

Пошкодження генетичного (спадкового) матеріалу клітини, що передається наступному поколінню.

## **ДІЛЕННЯ ЯДРА (ПРОЦЕС РОЗЩЕПЛЕННЯ)**

Розпад збудженого ядра на кілька (зазвичай 2, рідко 3 і 4), порівнянних по масі, ядер - уламків поділу, що супроводжується виділенням вторинних

нейтронів ділення, гамма-випромінюванням і виділенням значної кількості енергії.

### **ДОЩ РАДІОАКТИВНИЙ**

Дощ, водяні краплі якого містять радіоактивні речовини, як наслідок атомного вибуху або радіаційної аварії. Д.Р. випадає тоді, коли радіоактивна хмара зливається з купчастими і ін. хмарами. Дощ випадає на значній відстані від вибуху, заражаючи ґрунт, воду, рослинність і ін. об'єкти.

### **ДОЗА**

В результаті взаємодії іонізуючого випромінювання з біологічним середовищем, живому організму передається частина енергії - доза (див. поглинена доза, ефективна доза, експозиційна доза).

### **ДОЗА ГРАНИЧНО ДОПУСТИМА**

Рекомендована МКРЗ і дозволена регулюючими органами доза, що регламентує рівні опромінення для персоналу і населення.

### **ДОЗИМЕТР**

Прилад, призначений для вимірювання рівнів іонізуючих випромінювань і забрудненості об'єктів радіонуклідами.

### **ЗАБРУДНЕННЯ РАДІОАКТИВНЕ**

Забруднення, спричинене підвищенням природного рівня радіоактивних речовин в середовищі.

### **ПОХОВАННЯ ВІДХОДІВ**

Одна з найбільших і важко вирішуваних екологічних проблем, що полягає в розміщенні відходів під землю в спеціально створені порожнини, кинуті геологічні вироблення або як найглибші западини морського дна, без можливості їх зворотного витягання.

### **ЗАХИСТ ВІД ІОНІЗУЮЧИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ**

Комплекс заходів із застосуванням спеціальних пристроїв і устаткування, що знижують рівень випромінювання до гранично допустимої дози (ГДД). З. від і. в. у разі відкритих джерел полягає, головним чином, у доведенні до рівня нижче ГДД концентрації радіоактивних речовин у ґрунті, воді, повітрі, на поверхні предметів, з якими може стикатися персонал.

### **ЗІВЕРТ**

Одиниця еквівалентної дози будь-якого виду випромінювання, поглиненою біологічною тканиною.  $1 \text{ Зв} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ бер.}$

### **ЗОНА ВІДСЕЛЕННЯ**

Частина території за межами зони відчуження, на якій забруднення ґрунтів цезієм складає понад  $5,55 \cdot 10^{11} \text{ Бк/км}^2$  ( $15 \text{ Ки/км}^2$ )

### **ЗОНА ВІДЧУЖЕННЯ**

Територія навколо Чорнобильської АЕС, а також частина території, забрудненої радіоактивними речовинами унаслідок аварії на Чорнобильській АЕС, з якої відповідно до норм радіаційної безпеки в 1986-1987 рр. населення було евакуйоване. У З. в. забороняється постійне мешкання, обмежуються

сільськогосподарська діяльність і природокористування. Перелік допустимих у ній видів господарської діяльності, порядок її організації і природокористування встановлюються Урядом.

### **ЗОНА РАДІАЦІЙНОЇ АВАРІЇ**

Територія з пунктами, що знаходяться на ній, і окремими об'єктами, на якій техногенний фон випромінювання перевищує рівні, встановлені компетентними органами.

### **ВИПРОМІНЮВАННЯ ІОНІЗУЮЧЕ**

Рентгенівські промені, гамма-промені, альфа -, бета-промені, що викликають іонізацію середовища, тобто перетворення нейтральних атомів і молекул на іони. Є мутагенним чинником.

### **ІЗОТОП РАДІОАКТИВНИЙ, РАДІОІЗОТОП**

Радіонуклід хімічного елементу (напр., радіоактивний ізотоп йоду -  $^{131}\text{I}$ , радіоактивний ізотоп кобальта -  $^{60}\text{Co}$ ).

### **ІНКОРПОРАЦІЯ РАДІОАКТИВНИХ РЕЧОВИН**

Проникнення в організм радіоактивних речовин. Інкорпорація природних радіонуклідів, що містяться в невеликих кількостях в продуктах харчування, воді, повітрі, відбувається постійно крізь дихальні шляхи, шлунково-кишковий тракт і шкіру. І. р. р. спостерігається і при використанні радіонуклідів в медицині для діагностики і лікування захворювань, включенні їх в біологічний кругообіг у разі аварій, випробуванні ядерної зброї, внаслідок забруднення навколишнього середовища.

### **ІНТЕНСИВНІСТЬ ЗАБРУДНЕННЯ**

Швидкість надходження забруднювальних речовин в середовище або їх загальний рівень в середовищі.

### **ІОНІЗАЦІЯ**

Відрив електрона від атома і утворення іонів. У біологічних тканинах іонізація викликає різні зміни, які можуть призвести до розвитку променевої хвороби.

### **ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Потік заряджених або нейтральних частинок і квантів електромагнітного випромінювання, проходження яких, крізь речовину приводить до іонізації і збудження атомів або молекул середовища. За своєю природою поділяється на фотонне (гамма-випромінювання, гальмівне випромінювання, рентгенівське випромінювання) і корпускулярне (альфа-випромінювання, електронне, протонне, нейтронне, мезонне).

### **ДЖЕРЕЛО ІОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Пристрій або радіоактивна речовина, що випромінює або здатна випромінювати іонізуюче випромінювання. Залежно від походження, Д. і. в. бувають природні (космічні промені, гамма-випромінювання від земних порід, продукти розпаду радону і торія в повітрі і інші природні радіонукліди, присутні в навколишньому середовищі) і штучні (рентгенівське

випромінювання, вживане в медицині, радіоактивні осідання при використанні ядерної зброї, викиди радіонуклідів з відходами атомної станції в навколишнє середовище, а також гамма-випромінювання, використовуване в промисловості).

### **КАНЦЕРОГЕНИ**

Хімічні і фізичні забруднюючі речовини, що сприяють виникненню і розвитку ракових захворювань (наприклад, поліциклічні ароматичні вуглеводні - ПАВ, бензапирен і інші хімічні речовини; ультрафіолетове, рентгенівське, радіоактивне опромінення).

### **ПРОМЕНІ РЕНТГЕНІВСЬКІ**

Не видиме оком електромагнітне випромінювання з довжиною хвилі 10-10 нм. П.р. випускаються при гальмуванні швидких електронів в речовині і під час переходу електронів із зовнішніх електронних оболонок атома на внутрішні.

### **МОГИЛЬНИК РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

Споруда, призначена для поховання твердих або затверділих радіоактивних відходів.

### **МУТАЦІЇ**

Раптові природні (спонтанні) або створені штучно стійкі зміни спадкових структур (генів, хромосом), а також обумовлені ними різні зміни властивостей і ознак організму. Під впливом іонізуючих випромінювань виникають в основному генні і хромосомні мутації.

### **МУТАЦІЇ РАДІАЦІЙНІ**

Мутації, що виникають в клітинах під впливом іонізуючого випромінювання.

### **ХМАРА РАДІОАКТИВНА**

Хмара грибоподібної форми, що утворюється при атомному вибуху з вогняної кулі, коли її щільність при підйомі на висоту 8-15 км. досягає щільності навколишнього повітря. Х.р. складається з радіоактивного пилу ґрунту, що піднімається із землі, і водяної пари, що конденсується, з наведеною радіоактивністю, радіоактивній суміші продуктів ділення ядерного і термоядерного заряду, його частини, що не прореагувала, і конструктивних елементів вибухового пристрою. Х.р. може мати радіус декілька десятків кілометрів і переміщатися по напрямку повітряних потоків на сотні кілометрів.

### **ОПРОМІНЕННЯ**

Дія на живий організм будь-якими видами випромінювань: від інфрачервоного до іонізуючого, включаючи космічні промені.

### **ОПРОМІНЕННЯ ЗОВНІШНЄ**

Опромінення від джерел радіоактивного випромінювання, що знаходяться поза організмом.

## **ОПРОМІНЕННЯ ВНУТРІШНЄ**

Опромінення від джерел радіоактивного випромінювання, що знаходяться всередині об'єкта. О. в. продовжується до тих пір, поки радіоактивна речовина, що знаходиться в організмі, не розпадеться або не буде виведена з нього.

## **ОБСТАНОВКА РАДІАЦІЙНА**

Стан місцевості після забруднення радіоактивними речовинами. О.р. оцінюється по потужності дози гамма-випромінювання на місцевості і щільності забруднення об'єктів навколишнього середовища окремими радіонуклідами.

## **ОСІДАННЯ РАДІОАКТИВНІ**

Осідають з атмосфери на поверхню землі (тверді або рідкі) частинки, що містять радіонукліди. Джерелом О.Р. є ядерні вибухи і аварійні викиди. Кількість природних О.Р., що утворюються під впливом космічних випромінювань і в результаті розпаду радону, невелика. Розрізняють О.Р. локальні (у районі наземного або підземного вибуху) і глобальні (що розповсюджуються повсюдно).

## **ПЕРЕРОБКА РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ**

Комплекс технологічних процесів, направлених на зменшення об'ємів радіоактивних відходів або переведення їх у форми, щільно фіксуючі радіонукліди.

## **ПЕРІОД "ЙОДНОЇ НЕБЕЗПЕКИ"**

Перший період в динаміці радіаційної обстановки при ядерному вибуху або аварії на атомній електростанції, коли найбільш небезпечними для людини і тварин є радіонукліди йоду (в першу чергу йод-131), які можуть викликати радіаційне ураження. Тривалість періоду - 40-60 діб.

## **ПЕРІОД НАПІВРОЗПАДУ ( $T_{1/2}$ )**

Час, протягом якого число ядер радіонукліда в результаті розпаду зменшується в два рази.

## **НАСЛІДКИ ЯДЕРНИХ ВИБУХІВ БІОЛОГІЧНІ**

Дія на навколишнє середовище ядерних вибухів, що підрозділяються на три категорії: пошкодження і знищення біоценозів; пошкодження окремих індивідів, їхньої сукупності і цілих популяцій в результаті дії іонізуючого випромінювання або акумуляції ними радіоактивних продуктів; генетичні наслідки у тварин і рослин.

## **ПРИНЦИП ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАДІАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ НАСЕЛЕННЯ**

Сукупність принципів, що включає: принцип нормування (не перевищення допустимих меж індивідуальних доз опромінення громадян від всіх джерел іонізуючого випромінювання); принцип обґрунтування (заборона всіх видів діяльності по використанню джерел іонізуючого випромінювання, при яких отримана для людини або суспільства користь не перевищує ризик можливої шкоди, заподіяної додатковим до природного радіаційного фону

опроміненням); принцип оптимізації (підтримка на можливо низькому і досяжному рівні з урахуванням економічних і соціальних чинників індивідуальних доз опромінення і числа осіб, що опромінюються при використанні будь-якого джерела іонізуючого випромінювання).

### **ПРОДУКТ РОЗПАДУ**

Нуклід або радіонуклід, що утворюється в процесі розпаду. П. р. може бути отриманий безпосередньо з радіонукліда або в результаті серії послідовних розпадів крізь декілька радіонуклідів.

### **ПРОТОН**

Стійка елементарна частинка з позитивним зарядом, рівним одиниці, і масою 1,00728 атомних одиниць маси. Разом з нейтронами утворює ядра всіх хімічних елементів. Число протонів в атомному ядрі визначає заряд ядра і місце хімічного елемента в періодичній системі елементів.

### **ПРОФІЛАКТИКА ЙОДНА**

Профілактична процедура з метою зниження радіоактивного опромінення йодом-131 щитовидної залози, що полягає в прийомі стабільних йодних препаратів до або в перші години радіоактивного викиду.

### **ПИЛ РАДІОАКТИВНИЙ**

Пил, що містить радіонукліди техногенного (виробничого) походження.

### **РАДІОНУКЛІДИ ПРИРОДНІ**

Радіонукліди, які утворилися і постійно утворюються без участі людини. До Р. П. відносяться: первинні - такі, що утворилися одночасно з утворенням планети (К, Са, і ін.); вторинні - продукти розпаду первинних Р. П.; індуковані - що утворилися під дією космічних променів і вторинних нейтронів. Всього налічують більше 300 Р. П.

### **РАДІОРЕЗИСТЕНТНІСТЬ**

Стійкість клітин, тканин і всього організму в цілому до дії іонізуючого випромінювання.

### **РАДІОЕКОЛОГІЯ**

Галузь екології, що вивчає розподіл, міграцію і кругообіг радіонуклідів в біосфері і дію іонізуючого випромінювання на екологічні системи (біогеоценози і популяції організмів).

### **РАДОН**

Радіоактивний хімічний елемент - інертний газ, продукт розпаду радію, що використовується в науковій практиці і медицині.

### **РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ**

Штучне іонізуюче випромінювання, що використовується в медицині.

### **СИМВОЛ ТРИЛИСНИКА**

Всесвітньо використовуваний символ, для попередження про присутність радіоактивного забруднення або про можливість його виникнення.

## **СЛІД РАДІОАКТИВНИЙ**

Територія, забруднена радіоактивними речовинами по шляху руху радіоактивної хмари, утвореної ядерним вибухом або викидами радіоактивних речовин підприємств атомної промисловості ядерної енергетики.

## **ФОТОН**

Частинка світла, квант електромагнітного поля. Нейтральна елементарна частинка з нульовою масою. Світло є потік фотонів, також фотонами називають рентгенівські і гамма-частинки.

## **ЛАНЦЮГОВА РЕАКЦІЯ**

Процес, який, одного разу почавшись, забезпечує умови для свого продовження. Тобто нейтрони, що виникли в процесі ядерної реакції ділення, викликають ділення ядер важких елементів (урану, плутонію, торію), створюючи ще більше нейтронів, які викликають подальше ділення і т.д.

## **ЕЛЕКТРОН**

Стабільна негативно заряджена елементарна частинка, масою  $9 \cdot 10^{-28}$  грама, складова частина атома. Число електронів в нейтральному атомі дорівнює атомному номеру, тобто числу протонів в ядрі. Електронні оболонки атомів визначають оптичні, електричні, магнітні і хімічні властивості атомів і молекул, а також більшість властивостей твердих тіл.

## **ЮНЕП (ПРОГРАМА ОРГАНІЗАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ НАЦІЙ ПО НАВКОЛИШНЬОМУ СЕРЕДОВИЩУ)**

Спеціалізована установа системи ООН, створена за рекомендацією Стокгольмської конференції ООН в 1972 році по навколишньому середовищу. Основне завдання ЮНЕП - координація умов держав в боротьбі із забрудненням і деградацією навколишнього природного середовища; ЮНЕСКО очолює міжнародну співпрацю в цій області. Штаб-квартира знаходиться в Парижі.



Навчальне видання

**Герасимов** Олег Іванович

**РАДІОЕКОЛОГІЯ:**

**ІОНІЗУЮЧЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ І  
НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ**

Конспект лекцій

Підп. до друку 30.10.08  
Умовн. друк. арк. 2.7

Формат 60×84/16  
Тираж 100

Папір *офс.*  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул. Львівська, 15

---