

- 2000р. Олександр Перепелиця.  
**Радіоактивні елементи та їх вплив на людину (початок).**
- 2000г. Александр Перепелица.  
**Радиоактивные элементы и их влияние на человека (начало).**
- 2000у. A. Perepelytsya.  
**Radioactive elements and its influence on a man (begining).**

Описані суть і типи радіоактивного розпаду, загальна дія радіоактивності на біологічні системи.

Описаны сущность и типы радиоактивного распада, общее действие радиоактивности на биологические системы.

Essence and types of radioactive decay are described, general action of radioactivity on biological systems - also.

**Ключові слова:** суть, типи, радіоактивний розпад, загальна дія, біологічні системи.

**Ключевые слова:** сущность, типы, радиоактивный распад, общее действие, биологические системы.

**Keywords:** essence, types, radioactivity, general action, biological systems.

# РАДІОАКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЛЮДИНУ

## Суть радіактивності та одиниці її вимірювання

До радіоактивних належать елементи, всі ізотопи яких радіоактивні. Це – природні елементи з протонним числом, більшим за 83, тобто розміщені в періодичній системі після Бісмуту. Ізотопи радіоактивних елементів є окремими ланками в ланцюгах ядерних перетворень чотирьох радіоактивних родин:  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  і  $^{237}\text{Np}$ . Ряд  $^{238}\text{U}$  називають рядом Урану – Ренію, а ряд  $^{235}\text{U}$  – рядом актиноурану.

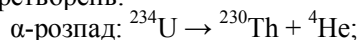
Радіоактивні ізотопи є в елементів, розташованих наприкінці таблиці Менделєєва ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Bi}$  та ін.), а також у легких елементів ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$  та ін.).

Радіоактивні перетворення бувають різних типів. Під час  $\alpha$ -розпаду радіоактивні ізотопи випромінюють  $\alpha$ -частинки (ядра He) й утворюють новий елемент, який розміщується в таблиці Менделєєва на дві клітинки ліворуч. У результаті  $\beta$ -розпаду радіоактивні ізотопи випромінюють електрони ( $\beta$ -промені) й утворюють елемент, розміщений у таблиці праворуч, або випромінюють позитрони ( $\beta^+$ -промені) й утворюють елемент, розміщений у таблиці Менделєєва ліворуч відносно вихідного елемента. Одночасно з  $\alpha$ - і  $\beta$ -променями радіоактивні ізотопи часто випромінюють  $\gamma$ -промені (фотони).

Внаслідок електронного K-захвату електрон із найближчого до ядра рівня захоплюється ядром цього самого атома, й атом випромінює  $\gamma$ -промені. Під час ядерних перетворень атоми можуть випромінювати також нейтрони або протони.

У 1932 р. Ірен і Фредерік Жоліо-Кюрі відкрили явище штучної радіоактивності. Воно полягає в тому, що під час ядерних реакцій нейтрони, протони,  $\alpha$ -частинки взаємодіють з ядрами хімічних елементів, внаслідок чого утворюються проміжні нестабільні ядра з часом існування близько  $1\text{--}10^7$  с, які потім перетворюються на нові стабільні ядра елементів.

Приклади різних видів згаданих радіоактивних перетворень:



$\beta$ -розпад:  $n \rightarrow p + \beta^- + \gamma$ , де  $\gamma$  – антинейтрино, наприклад  $^{210}\text{Bi} \rightarrow ^{210}\text{Po} + \beta^- + \gamma$ ;

$\beta^+$ -розпад:  $p \rightarrow n + \beta^+ + \gamma$ , наприклад  $^{11}\text{C} \rightarrow ^{11}\text{B} + \beta^+ + \gamma$ , де  $\gamma$  – нейтрино;

електронний захват:  $p + e \rightarrow n$ , наприклад  $^{40}\text{K} + e \rightarrow ^{40}\text{Ar} + \gamma$ ;

штучна радіоактивність:  $^{10}\text{B} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^7\text{Li} + ^4\text{He}$ .

Радіаційні властивості ізотопів залежать від їх хімічної природи.

$\alpha$ -Промені, або  $\alpha$ -частинки, мають початкову швидкість 0,05—0,1 від швидкості світла, їх енергія становить 4-9 МеВ. Пробіг у повітрі  $\alpha$ -частинок становить 2,5—10 см, у біологічних тканинах – 30-120 мкм, в алюмінії – 16-65 мкм.

$\beta$ -Промені, або  $\beta$ -частинки, мають енергію від 0 до 3 МеВ (маса спокою електрона –  $9,1095 \cdot 10^{-31}$  кг, заряд електрона –  $1,6022 \cdot 10^{-19}$  Кл). Проникна здатність  $\beta$ -променів у 100-200 разів більша, ніж в  $\alpha$ -частинок з такою самою енергією.

Позитрони ( $\beta^+$ ,  $e^+$ ) миттєво зникають у результаті взаємодії з електронами.

$\gamma$ -Промені – це жорсткі електромагнітні коливання з великою проникаючою здатністю. Вони спричиняють іонізацію середовища у 100 разів меншу, ніж електрони.

Нейтрони (маса спокою –  $1,6749 \cdot 10^{-27}$  кг) мають велику проникну здатність, у вільному стані нестабільні, оскільки, зазнаючи  $\beta$ -розпаду, перетворюються на протони. Нейтрони залежно від їх енергії поділяються на: повільні ( $E < 100$  еВ), у тому числі теплові ( $E < 0,025$  еВ), нейтрони проміжної енергії ( $100$  еВ  $< E < 20$  кеВ), швидкі ( $20$  кеВ  $< E < 20$  МеВ) і надшвидкі ( $E > 20$  МеВ). Середня довжина пробігу для нейтронів з енергією 0,025-10 МеВ становить 0,28-11 см.

Через відсутність заряду нейтрони легко взаємодіють з атомними ядрами, що може супроводжуватися появою нових радіоактивних ізотопів,  $\gamma$ -променів,  $\alpha$ -частинок, протонів або розщепленням важкого ядра атома. У біологічних системах основний вплив нейтронів є наслідком їх взаємодії з ядрами Гідрогену, які перетворюються на дейтрони і випромінюють  $\gamma$ -промені. Захват нейтронів ядрами Нітрогену призводить до виникнення ізотопу  $^{14}\text{C}$  у живих організмах. Нейтрони добре поглинаються речовинами, що містять Гідроген і Карбон (вода, парафін, графіт тощо).

Протони (маса спокою –  $1,6726 \cdot 10^{-27}$  кг) – це ядра Гідрогену, що взаємодіють з речовинами подібно до  $\alpha$ -променів.

Дейтрони (маса спокою – 2,01410 а.о.м) – це

ядра важкого гідрогену-дейтерію, що поводяться подібно до протонів, але під час взаємодії з атомними ядрами розщеплюються на протони і нейтрони.

Радіоактивність вимірюється у відповідних одиницях.

*Кюрі* (Ки) – це основна позасистемна одиниця радіоактивності, відповідає  $3,7 \cdot 10^{10}$  розпадом за 1 с з будь-якої радіоактивної речовини. 1 мКи (мілікюрі) =  $1 \cdot 10^{-3}$  Ки; 1 мкКи (мікрокюрі) =  $1 \cdot 10^{-6}$  Ки; 1 Ки =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Бк.

*Бекерель* – це системна одиниця (СИ) активності нукліда в радіоактивному джерелі. Один бекерель дорівнює активності нукліда, за якої за 1 с відбувається один акт розпаду. 1 Бк =  $2,703 \cdot 10^{-11}$  Ки =  $10^{-6}$  резерфорда.

*Рентген* (Р) – це доза рентгенівського і  $\gamma$ -випромінювань, яка в 1 см<sup>3</sup> сухого повітря за 0 °С і 760 мм рт. ст. спричиняє утворення іонів, що несуть одну електростатичну одиницю кількості електрики кожного знака (Р =  $2,58 \cdot 10^{-4}$  Кл/кг).

*Потужність* дози радіоактивного випромінювання – це відношення дози *Д* до часу випромінювання *t*.

Для порівняння біологічної дії різних випромінювань застосовуються такі одиниці.

*Рад* – доза або кількість поглинутої енергії будь-яких іонізуючих променів будь-якою речовиною; за іонізації живих тканин практично 1 Р = 1 рад;

*Грей* (Гр) – це системна одиниця поглинутої дози іонізуючого випромінювання. 1 Гр дорівнює дозі випромінювання, за якої опроміненій речовині масою 1 кг передається енергія будь-якого іонізуючого випромінювання кількістю 1 Дж. 1 Гр = 1 Дж/кг =  $10^4$  ерг/г =  $1 \cdot 10^2$  рад.

*Фізичний еквівалент рентгена* (фер) – це доза або кількість будь-якого виду іонізуючих випромінювань, що дорівнює 1 Р жорстких рентгенівських променів або  $\gamma$ -променів;

*біологічний еквівалент рентгена* (бер) – це доза або кількість будь-якого виду іонізуючих випромінювань, які викликають такий самий біологічний ефект, як і 1 Р (або 1 рад) жорстких рентгенівських променів.

*Зіверт* (Зв) у СИ – це найменування одиниці еквівалентної дози випромінювання. 1 Зв = 1 Дж/кг =  $10^2$  бер.

Неоднаковий біологічний ефект за рівної дози різних видів випромінювань привів до потреби ще одного критерію – *відносної біологічної ефективності* (ВБЕ) випромінювань. ВБЕ є відношенням біологічної ефективності досліджуваного випромінювання до біологічної ефективності терапевтичного рентгенівського випромінювання ( $E \sim 200$  кеВ). Між дозами *Д* і безрозмірним коефіцієнтом ВБЕ існує залежність:

$$Д (\text{бер}) = Д (\text{рад}) \text{ ВБЕ.}$$

Коефіцієнт ВБЕ зростає у міру збільшення

лінійної густини іонізації від 1 до 10-20. ВБЕ для рентгенівських і  $\gamma$ -променів становить 1, для протонів – до 10 МеВ, для швидких нейтронів і  $\gamma$ -частинок – до 10 МеВ.

*Коефіцієнт якості* (КЯ) – це безрозмірна величина, яка дає можливість зіставляти інтенсивність біологічної дії різних видів випромінювань і характеризує залежність біологічного ефекту хронічного випромінювання від лінійної передачі енергії (ЛПЕ) даного виду іонізуючого випромінювання.

ЛПЕ (кеВ/мкм води)

< 3,5 7 23 53 > 75

КЯ

1 2 5 10 20

За хронічного опромінення всього тіла КЯ має такі значення: рентгенівське і  $\gamma$ -випромінювання, електрони і позитрони – 1; протони з енергією < 10 МеВ і нейтрони з енергією 0,1 – 10 МеВ – 10;  $\alpha$ -промені з енергією < 10 МеВ і важкі ядра віддачі-20.

#### **Загальна дія радіоактивності на біологічні системи**

Вирішальним для біологічних систем є непрямий механізм дії радіації. Внаслідок процесів радіолізу води виникають вільні радикали, які впливають на біологічні системи. Якщо великі дози мають переважно руйнівний характер, то малі спричиняють мутації клітин і генетичні зміни, що згодом виявляються в еволюційному розвитку. Чутливість різних тканинних, клітинних елементів і біологічних макромолекул до випромінювання різна. Найчутливішим є генетичний апарат клітини. Радіація призводить до порушень у системі пуринових і піримідинових основ ДНК, пошкоджує структуру хромосом. Виникають мутації, тобто зміни, які успадковуються клітинами чи організмами нащадків. Поряд із цим радіація спричиняє багато інших морфологічних і функціональних порушень у макромолекулах, клітинах, органах і фізіологічних системах організму. Патологічні зміни можуть поширюватися на будь-які тканини і функції організму. Локалізація, поширеність і тяжкість патологічних процесів, що виникають через вплив радіації, залежать від шляхів такого впливу на організм, від інтенсивності, тривалості випромінювання, характеру радіації, хімічної природи радіоактивної речовини і рівня репаративних і компенсаторних процесів, які забезпечують післярадіаційне відновлення генетичних структур, а також від багатьох морфологічних і функціональних порушень клітин і фізіологічних систем організму.

Ураження виникають під час вдихання, проковтування, потрапляння на шкіру радіоактивних речовин або навіть за дії радіоактивного ви-

промінювання на відстані. Залежно від того, де розміщується джерело радіації, розрізняють *зовнішнє* і *внутрішнє* опромінення. Опромінення обмеженої ділянки тіла менш шкідливе, ніж загальне опромінення такою самою дозою.

Характер розпаду радіоактивних ізотопів й енергії променів визначає глибину проникнення радіації, питому іонізацію та ВБЕ. Всмоктування, розподілення і виведення радіоактивних ізотопів залежать від хімічної природи елемента і його сполук. Наприклад, якщо Радій і Стронцій поведуться в організмі подібно до Кальцію і накопичуються в кістках, то Йод – переважно в щитовидній залозі, а Цезій – у м'язах.

Здатність до накопичення радіоактивних ізотопів у окремій тканині (чи органі) або підвищена чутливість до опромінення створюють можливість пошкодження цієї тканини (органу), і таку тканину називають *критичним органом*.

Виведення радіоактивного ізотопу з організму кількісно визначається біологічним періодом напіввиділення  $T_{1/2}$  ( $T_6$ ). Крім цього, зменшення активності радіоактивного ізотопу залежить і від періоду напіврозпаду ізотопу  $T_{1/2}$ . Тому введено поняття *ефективного біологічного періоду напіввиділення радіоактивного ізотопу* з організму:

$$T_{\phi} = \frac{T_{1/2} \cdot T_6}{T_{1/2} + T_6}$$

Радіоактивні ізотопи та їх сполуки можуть справляти подвійний патогенний вплив на організм – крім опромінення тканин викликати отруєння за рахунок хімічної токсичності. У деяких радіоактивних речовин остання переважає. Солі урану шкідливі передусім внаслідок хімічної токсичності. Одна і та сама доза радіоактивності по-різному сприймається організмом залежно від його функціонального стану. Реакція організму може змінюватися під впливом тих або інших модифікуючих факторів. Радіосенсибілізатори підсилюють, а протектори зменшують дію радіації на окремі органи й організм у цілому.

Патологічні наслідки реакції численні й різноманітні. Основні з них такі: а) гостре захворювання, спричинене інтенсивним опроміненням (променева хвороба); б) хронічні порушення деяких функцій (лейкопенія – зменшення кількості лейкоцитів у крові, пригнічення статевої діяльності та ін.); в) гострі наслідки локального опромінення великою дозою (променевої опіки), некротичні явища в тих чи інших тканинах); г) віддалені наслідки опромінення (пухлини, катаракти, порушення розвитку плода, генетичні ефекти, прискорене старіння організму).

Об'єктивно слід визнати, що життя на Землі за всіх періодів розвивалося на фоні іонізуючої радіації. Це – природний радіаційний фон, створюваний космічним випромінюванням, природними радіонуклідами  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  та продуктами радіоактивного розпаду Урану і Торію. Середня доза фонового (зовнішнього і внутрішнього)

опромінення людини становить 1 мЗв/рік. У деяких районах з високим вмістом природних радіонуклідів ця величина дорівнює 10 мЗв і більше.

Вважається, що частина спадкових змін (мутацій) у рослин і тварин пов'язана з радіаційним фоном.

Дія радіації має складний характер, в основі якого лежить комплекс взаємопов'язаних процесів. Спочатку атоми й молекули зазнають іонізації та збудження, а потім перетворюються на активні радикали, які вступають у реакції з різними біологічними структурами живих клітин. Ці первинні процеси називають *пухковими*. Потім розвиток променевого враження виявляється в порушенні обміну речовин і зміні відповідних функцій органів. Найчутливіші до радіації – молоді й малодиференційовані клітини.

Рослини й тварини мають різну чутливість до радіації. Причина цього повністю ще не з'ясована. Найменш чутливі – одноклітинні організми і бактерії, а найчутливіші – ссавці. В окремих істот того самого виду чутливість до радіації різна. Вона залежить від фізіологічного стану, індивідуальних особливостей умов існування організму. Найвразливіші до опромінення – щойно народжені та літні істоти. Захворювання та інші шкідливі чинники негативно впливають на перебіг радіаційних уражень.

Зміни, які відбуваються в органах і тканинах опроміненого організму, називають *соматичними*. Розрізняють ранні соматичні ефекти, для яких характерна чітка дозова залежність, і пізні, - до яких відносять: підвищення ризику розвитку пухлин (лейкозів), скорочення тривалості життя і різного роду порушення функцій органів. Специфічні новоутворення, які є результатом лише іонізуючого опромінення, відсутні. Існує тісний зв'язок між фазою, виходом пухлин і тривалістю латентного періоду. Зі зменшенням дози частота виникнення пухлин зменшується, а латентний період збільшується. У віддалені терміни можуть спостерігатися і генетичні (вроджені потворності, порушення, що передаються у спадок) ушкодження, які поряд з пухлинними ефектами є стохастичними. В основі генетичних ефектів опромінення лежать пошкодження клітинних структур, які відповідають за спадковість, - яєчників і сім'яників.

Проміжне місце між соматичними і генетичними ушкодженнями посідають ембріотоксичні ефекти – вади розвитку – наслідки опромінення плода. Плід досить чутливий до опромінення, особливо в період органогенезу (на 4-12-му тижні вагітності жінки). Особливо чутливим є мозок плода (оскільки саме в цей період формується кора головного мозку).

(Далі буде)

Надійшла \_\_\_\_\_2013р. Олександр Перепелиця Біологія і хімія у школі. 2000. №  
1. с. 46-48 (початок статті)