

## Лекція

### Геохімічні властивості радіоактивних елементів

#### План лекції:

1. Характеристика найголовніших геохімічних властивостей радіоактивних елементів.
2. Процес міграції радіоактивних елементів.
3. Умови збагачення природних вод радіоактивними елементами.

Уран є родоначальником найважливішого ряду радіоактивних елементів. Основні риси геохімії урану визначаються його положенням у періодичній системі елементів:

1. Більша маса ядра атома урану, що характеризується його атомною вагою 238, 07, обумовлює нестійкість атома урану, тобто його радіоактивний розпад.
2. Елементи з високими порядковими номерами й атомною вагою зустрічаються в земній корі рідше, ніж легкі, однак парний порядковий номер урану (92) обумовлює його більше поширення порівняно з сусідніми елементами, що мають непарні номери.
3. Чим вищий номер групи періодичної системи елементів, тим сильніше виражений кислотний характер елемента, проте чим більші порядковий номер та атомна вага, тим сильніше виражені його основні властивості.
4. Внаслідок того, що уран знаходиться в шостій групі періодичної системи (ряд уранідів), він має шість валентних електронів, розміщених на кількох орбітах. Це вказує на можливість виявлення урану на різних ступенях окислення (3, 4, 5, 6), що значно ускладнює геохімію елемента, оскільки його йони різної валентності ведуть себе в природі по-різному і здатні брати участь в окисно-відновних реакціях.

5. Із втратою всіх валентних електронів уран утворює іон, у зовнішній оболонці якого знаходиться вісім електронів, тобто йон, побудований за моделлю атомів інертних газів, належить до літофільних елементів. Це визначає:

- а) наявність урану в кислих силікатних гірських породах;
- б) перебування урану в природі у формі кисневих сполук, а не в формі сульфідів, селенідів, арсенідів та антимонідів унаслідок їх сильної гідролізаційної схильності;
- в) висока подібність до кисню, що визначає стійкість окисів і відсутність у природі самородного металічного урану;
- г) слабкий розвиток поляризаційних властивостей іона шестивалентного урану, що обумовлює відносно легке розчинення багатьох його сполук.

Якщо в хімії відомі шести-, чотири-, і тривалентні сполуки урану, то в природних сполуках він зустрічається лише у вигляді чотири- і шестивалентних сполук. Чотиривалентними є високотемпературні мінерали урану або його поверхневі сполуки, утворені у сильно відновлювальному середовищі. Більшість поверхневих утворень – це сполуки шестивалентного урану.

Природні шести- й чотиривалентні сполуки урану: двоокис  $UO_2$ , закис-окис  $U_3O_8$  і триокис  $UO_3$ . В умовах глибинних процесів, що відбуваються без надлишку вільного кисню, стійким є двоокис урану – чорні кубічні кристали, що плавляться при температурі  $2167^\circ$ . Слід відзначити наявність в ураніті ( $UO_3$ ) певної надлишкової кількості кисню, який неминуче утворюється в мінералі внаслідок радіоактивного розпаду урану. Зі зниженням температури можливими є також процеси ендогенного окислення  $U^{4+}$  до  $U^{6+}$ .

Триокис урану  $UO_3$  утворюється за відносно невисоких (до  $600^\circ$ ) температур та атмосферному тиску і, на відміну від чорного забарвлення  $UO_2$  й зеленувато-чорного  $U_3O_8$ , має характерний жовтий колір. Вивчення ряду

окисів урану показало їхню своєрідність, що полягає у здатності розчиняти велику кількість близького за складом окису урану без порушення кристалічних ґраток.

Геохімічні властивості радію майже не вивчені. У природі радій знаходиться в украй розсіяному вигляді й мінералів не утворює. Напевно, сполуки радію типу (радіобарити та ін.) у природних умовах існують, але вони недовговічні й зустрічаються лише в дисперсному стані.

***Питання для самоконтролю знань студентами:***

1. Чим супроводжується розпад атомів радіоактивних елементів?
2. Яким правилам зміщення підпорядковуються радіоактивні перетворення?
3. Перерахуйте родини радіоактивних елементів.
4. Які радіоактивні елементи виявлені в природних водах у наш час? До якого ряду вони належать?
5. Перерахуйте основні риси геохімії урану.
6. Опишіть роль підземних вод у міграції радіоактивних елементів.

## ***ПИТАННЯ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЮ***

1. Як визначається активність радіонукліду?
2. Перерахувати та коротко охарактеризувати основні закони України у сфері радіаційного захисту.
3. Перелічити основні нормативні документи, що містять вимоги держави щодо радіаційної безпеки.
4. Що таке поглинена доза та експозиційна доза, одиниці виміру
5. Дві категорії природних радіонуклідів, дати визначення та коротко описати кожна.
6. З чого складається штучний радіаційний фон?
7. Умови здійснення радіаційного контролю, контролю за опроміненням населення.
8. Основні принципи радіаційного захисту та безпеки, перерахувати та коротко охарактеризувати.
9. Назвати класифікацію радіоактивних відходів та поводження з ними.
10. Системні та позасистемні одиниці виміру експозиційної дози.
11. Як поділяються радіонукліди залежно від мінімальної значної активності.
12. Перелічити величини, що використовуються визначення радіаційних характеристик радона.
13. Описати шляхи надходження радіонуклідів до організму людини.
14. Описати особливості внутрішнього опромінення від природних радіонуклідів.
15. Радієві води.
16. Уранові води.
17. Радонові води кори вивітрювання.
18. Радонові води тектонічних тріщин.
19. Радонові води еманувальних колекторів.
20. Вміст радіоактивних елементів у поверхневих і підземних водах.
21. Класифікація радіоактивних вод.
22. Значення клімату у формуванні радіоактивних вод.

23. Значення гідродинамічної зональності при формуванні радіоактивних вод.
24. Ступінь розкриття геологічних структур та їх вплив на збагачення підземних вод радіоактивними компонентами.
25. Характеристика та формування порід з нормальним розсіяним вмістом радіоактивних елементів.
26. Характеристика та формування порід з підвищеним, але розсіяним вмістом радіоактивних елементів.
27. Характеристика порід з рудними концентраціями радіоактивних елементів.
28. Загальні відомості про радіоактивність. Історія відкриття та коротка характеристика радіоактивних елементів.
29. Головні фізико-хімічні властивості радіоактивних елементів.
30. Геохімічні властивості радіоактивних елементів.
31. Міграція радіоактивних елементів.
32. Умови збагачення природних вод радіоактивними елементами.
33. Основні принципи радіаційного захисту та безпеки населення.
34. Характеристика еманувальної здатності гірських порід.
35. Характеристика адсорбційних процесів гірських порід при збагаченні підземних вод радіоактивними елементами.
36. Вплив температури на збагачення підземних вод радіоактивними елементами.
37. Формування і поширення уранових та урано-радієвих вод осадових і метаморфічних порід, збагачених розсіяним ураном.
38. Урано-радонові та урано-радієво-радонові води.
39. Формування радоно-радієвих вод та суперечки, які були навколо цього питання.

# Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ГГРТ

Напрямок 103 Науки про Землю

Освітня програма Прикладна гідрогеологія

Семестр 5

Форма навчання денна/заочна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: **Радіогідрогеологія**

ПІБ (студента) \_\_\_\_\_

## ЗАЛІКОВИЙ БІЛЕТ № 1

1. Описати яке значення має клімат та гідродинамічна зональність стратисфери при утворенні радіоактивних вод. – 10 б.
2. Дати характеристику формам знаходження радіоактивних елементів у гірських породах. – 10 б.
3. Що таке радіогідрогеологічна зональність, та якою вона буває. – 10 б.
4. Дати характеристику радієвим водам. – 10 б.

Затверджено на засіданні кафедри фундаментальної і прикладної геології  
протокол № 1 від “28” серпня 2023 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Валерій СУХОВ  
підпис

Викладач \_\_\_\_\_ Ігор УДАЛОВ  
підпис

## **План лекцій з курсу «Радіогідрогеологія»**

### **Лекція 1-2. «Вступ. Загальні відомості про радіоактивні елементи, поняття «радіоактивність»»**

- 1.1. Загальні відомості про радіоактивність. Історія відкриття та коротка характеристика радіоактивних елементів.
- 1.2. Головні фізико-хімічні властивості радіоактивних елементів.
- 1.3. Геохімічні властивості радіоактивних елементів. Міграція радіоактивних елементів.
- 1.4. Умови збагачення природних вод радіоактивними елементами.
- 1.5. Основні принципи радіаційного захисту та безпеки населення.

### **Лекція 3-4. «Вміст і форма знаходження радіоактивних елементів у гірських породах»**

- 2.1. Характеристика та формування порід з нормальним розсіяним вмістом радіоактивних елементів.
- 2.2. Характеристика та формування порід з підвищеним, але розсіяним вмістом радіоактивних елементів.
- 2.3. Характеристика порід з рудними концентраціями радіоактивних елементів.
- 2.4. Характеристика порід із вторинними концентраціями тільки радію.

### **Лекція 5-6. «Гідрогеологічні умови формування радіоактивних вод»**

- 3.1. Значення клімату у формуванні радіоактивних вод.
- 3.2. Значення гідродинамічної зональності при формуванні радіоактивних вод.
- 3.3. Ступінь розкриття геологічних структур та їх вплив на збагачення підземних вод радіоактивними компонентами.

### **Лекція 7-8. «Фізичні властивості гірських порід та підземних вод»**

- 4.1. Характеристика еманувальної здатності гірських порід.
- 4.2. Характеристика адсорбційних процесів гірських порід при збагаченні підземних вод радіоактивними елементами.
- 4.3. Вплив температури на збагачення підземних вод радіоактивними елементами.

### **Лекція 9. « Типи природних радіоактивних вод та їх формування»**

- 5.1. Вміст радіоактивних елементів у поверхневих і підземних водах.
- 5.2. Класифікація радіоактивних вод.

### **Лекція 10. «Радонові води»**

- 6.1. Радонові води кори вивітрювання.
- 6.2. Радонові води тектонічних тріщин.
- 6.3. Радонові води еманувальних колекторів.

### **Лекція 11-12. «Радієві води. Уранові води.»**

- 7.1. Характеристика радієвих вод. Хімічний склад та утворення радієвих вод.
- 7.2. Характеристика уранових вод поверхневих водойм (морів і океанів, річок, озер).

### **Лекція 13-15. «Уранові та урано-радієві води осадових і метаморфічних порід, збагачених розсіяним ураном. Урано-радонові та урано-радієво-радонові води.»**

- 8.1. Формування і поширення уранових та урано-радієвих вод осадових і метаморфічних порід, збагачених розсіяним ураном.
- 8.2. Урано-радонові та урано-радієво-радонові води. Формування, характер циркуляції.
- 8.3. Води зони окислення гідротермальних уранових родовищ.
- 8.4. Води зони окислення осадових уранових родовищ.

### **Лекція 16. «Радоно-радієві води»**

- 9.1. Хімічні процеси в зоні цементації.
- 9.2. Чинники, які впливають на формування типів вод в цій зоні.
- 9.3. Формування радоно-радієвих вод та суперечки, які були навколо цього питання.



## Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Факультет ГГРТ

Напрямок 103 Науки про Землю

Освітня програма Прикладна гідрогеологія

Семестр 5

Форма навчання денна/заочна

Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень): бакалавр

Навчальна дисципліна: **Радіогідрогеологія**

ПІБ (студента) \_\_\_\_\_

### Поточний контроль Варіант № 6

1. Які особливості формування притаманні водам зони окислення гідротермальних уранових родовищ? – 10 б.
2. Унаслідок яких процесів підземним водам притаманні підвищені концентрації радону? – 10 б.
3. Перерахувати величини, які використовуються для визначення радіаційних характеристик радону. – 10 б.
4. Охарактеризуйте первинну міграцію радіонуклідів. – 10 б.

Затверджено на засіданні кафедри фундаментальної і прикладної геології  
протокол № 1 від “28” серпня 2023 р.

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ Валерій СУХОВ  
підпис

Викладач \_\_\_\_\_ Ігор УДАЛОВ  
підпис

## Практичні роботи з курсу «Радіогідрогеологія»

### ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

#### РОЗРАХУНОК ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДІВ У РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДАХ

Для зменшення активності радіоактивних відходів вони розміщені в тимчасовому сховищі. Суміш радіонуклідів містить  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ , а їх початкові активності сягали  $N_{\text{Sr}0}$ ,  $N_{\text{Cs}0}$ ,  $N_{\text{Ce}0}$ ,  $N_{\text{Ru}0}$  відповідно. Отже, загальна початкова активність становила  $N_{\Sigma 0} = N_{\text{Sr}0} + N_{\text{Cs}0} + N_{\text{Ce}0} + N_{\text{Ru}0}$ . У процесі зберігання активність відходів зменшується, що знижує їх небезпеку і робить можливим їх остаточне захоронення після певної витримки в часі.

**Мета роботи.** Необхідно визначити час мінімальної витримки радіоактивних відходів для їх більш безпечного остаточного захоронення.

**Відомості з теорії.** Під впливом природного розпаду активність радіоактивних елементів поступово зменшується за експоненціальною залежністю згідно із законом радіоактивного розпаду. Сумарна активність суміші радіонуклідів обчислюється за формулою

$$N_{\Sigma}(t) = N_{\text{Sr}}(t) + N_{\text{Cs}}(t) + N_{\text{Ce}}(t) + N_{\text{Ru}}(t) \quad (1.1)$$

де  $N_{\text{Sr}}(t)$ ,  $N_{\text{Cs}}(t)$ ,  $N_{\text{Ce}}(t)$ ,  $N_{\text{Ru}}(t)$  – активності радіонуклідів у момент часу  $t$ , кожна з яких визначається за формулою

$$N_I(t) = N_{I,0} \exp(-\lambda t) \quad (1.2)$$

Константи розпаду обчислюються за формулою

$$T_I = \ln 2 / \lambda \quad (1.3)$$

на основі періоду піврозпаду, значення якого для найбільш поширених радіонуклідів приводяться у додатку.

У випадку одного елемента момент часу  $t$ , коли активність радіонукліду становитиме  $N(t)$ , можна визначити з рівняння

$$t = 3,32 T_{0,5} \lg N_0 / N(t) \quad (1.4)$$

де  $N_0$  – початкова активність радіонукліду.

Якщо розглядається суміш елементів, отримати залежність виду (1.4) неможливо. Тоді слід оцінювати час зменшення сумарної початкової

активності  $N_{\Sigma 0}$  до необхідного рівня на основі формули (1.1), наприклад за побудованим графіком.

Вихідні дані для розрахунків залежно від номера  $j$ , за яким у журналі групи записано прізвище студента, наведені у табл. 1.

Таблиця 1

Параметри для розрахунку

Початкові активності радіонуклідів, $K_i$				Період розрахунку $t_p$ , років	Зменшення сумарної початкової активності через проміжок часу $t_p$ , разів	
$^{90}\text{Sr}$	$^{137}\text{Cs}$	$^{144}\text{Ce}$	$^{106}\text{Ru}$		2	5
$50+j\cdot 0,5$	$20+j\cdot 0,5$	$10+j\cdot 10$	$10+j\cdot 10$	100		

### **Порядок виконання**

1. Використовуючи засоби обчислень у програмі MathCad або MS Excel, скласти формули для обчислень за залежністю (1.1).
2. Виконати розрахунок зменшення активності окремих радіонуклідів та їх суміші в період часу до моменту  $t_p$ , подати результат у вигляді графіка із сумарною активністю та активністю окремих радіонуклідів.
3. На основі графіка оцінити періоди часу, що необхідні для зниження активності суміші згідно з параметрами в табл. 1.
4. Зробити висновки відносно того, якими елементами переважно визначається радіоактивність у початковий та заключні періоди прогнозу.

**Звіт має містити** постановку задачі з конкретними даними для розрахунку, графіки, результати та висновки.

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2**  
**РОЗРАХУНОК ВМІСТУ МАТЕРИНСЬКОГО ТА ДОЧІРНЬОГО**  
**РАДІОНУКЛІДІВ У ХВОСТОСХОВИЩІ**

**Опис процесу.** У хвостосховищ відходів переробки радіоактивних руд містяться елементи ланцюга розпаду природних радіонуклідів, зокрема, ізоотоп  $^{226}\text{Ra}$  (початкова активність  $N_{1,0}$ ) та ізоотоп  $^{210}\text{Pb}$  (продукт розпаду  $^{226}\text{Ra}$  через кілька короткоживучих ізоотопів, початкова активність  $N_{2,0}$ ). Період піврозпаду материнського ізоотопу становить  $T_1=1600$  років, дочірнього ізоотопу  $T_2=22,3$  роки. Частина радіонуклідів знаходиться у розчинному стані й фільтрується через днище хвостосховищ у ґрунтові води.

**Мета роботи.** Визначити зміну сумарної активності перших двох елементів ланцюга розпаду – ізоотопів  $^{226}\text{Ra}$  та  $^{210}\text{Pb}$ .

**Відомості з теорії.** Активність материнського ізоотопу  $N_1(t)$  змінюється згідно із законом радіоактивного розпаду за формулою

$$N_1(t) = N_{1,0} \exp(-\lambda t) \quad (1.1)$$

Сумарна активність двох і більше радіонуклідів визначається аналогічно формулі

$$N_{\Sigma}(t) = N_{Sr}(t) + N_{Cs}(t) + N_{Ce}(t) + N_{Ru}(t) \quad (1.2)$$

У загальному випадку оцінити втрати радіонуклідів внаслідок фільтрації через днище хвостосховищ дуже складно. Припустимо, що обидва ізоотопи рівномірно розподілені по об'єму хвостових матеріалів, а втрати радіонуклідів через низхідну фільтрацію приблизно складають певну частину  $p$  (1/рік) від їх наявної кількості у сховищі.

Активності материнського та дочірнього радіонуклідів з урахуванням низхідної фільтрації описуються формулами

$$N_1(t) = N_{1,0} \exp(-(\lambda + p)t), \quad (1.3)$$

$$N_2(t) = \lambda_1 N_{1,0} e^{-pt} / (\lambda_2 - \lambda_1) \{ \exp(-\lambda_1 t) - \exp(-\lambda_2 t) \} + N_{2,0} \exp(-(\lambda_2 + p)t) \quad (1.4)$$

Вихідні дані для розрахунків залежно від номера  $j$ , за яким у журналі групи записано прізвище студента, наведені у таблиці 1.

## Вихідні дані для розрахунків

Варіант	1	2	1	2
Ізотоп	Початкова активність $N_0$ , Кі		Щорічні втрати радіоактивності на низхідну фільтрацію $p$ , 1/рік	
$^{226}\text{Ra}$	$300+j$	$10+j$	0,00001	0,0001
$^{210}\text{Pb}$	$40+j$	$40+j$		

Час розрахунку – 100 років.

**Порядок виконання**

1. Користуючись засобами програм MathCad або MS Excel, скласти формули для визначення активності окремих ізотопів та їх сумарної активності на основі співвідношень (1.3) та (1.4).

2. Визначити активність кожного з компонентів ланцюжка розпаду та їх сумарну активність без урахування втрат на фільтрацію через днище хвостосховищ ( $p=0$ ) та з урахуванням цих втрат ( $p>0$ ). Результати розрахунків подати у вигляді графіків.

3. Зробити висновки щодо впливу параметрів розпаду та низхідної фільтрації на активність радіонуклідів у хвостосховищ.

**Звіт має містити** постановку задачі з конкретними даними для розрахунку, графіки, результати та висновки.

**ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3**  
**ТИПИ ПРИРОДНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВОД ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇХ**  
**ФОРМУВАННЯ**

Підготувати короткі повідомлення з презентацією по типам радіоактивних вод за варіантами. Описати їх основні характеристики, умови формування, особливості використання:

№ варіанту	Типи радіоактивних вод
1.	Радонові води
2.	Радонові води кори вивітрювання
3.	Радонові води тектонічних тріщин
4.	Радонові води еманувальних колекторів
5.	Радієві води
6.	Уранові води
7.	Радоно-радієві води
8.	Урано-радієво-радонові води
9.	Урано-радонові

Презентувати підготовлену інформацію на практичному занятті.