



ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ ТА РУДОУТВОРЕННЯ
ім. М.П. СЕМЕНЕНКА
НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ



Затверджую
директор ІГМР НАН України
академік НАН України
О.М. Пономаренко
« 29 » 01 2025 р.

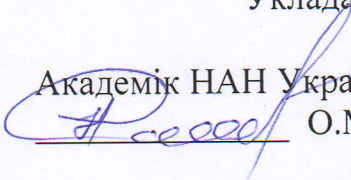
Схвалено
Вченою радою ІГМР НАН України
Протокол № 1 від « 28 » 01 2025 р.


РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

2.3.3. Ізотопна геологія
з спеціальності підготовки аспірантів

Е4 «Науки про Землю»
Форма навчання: очна
Рівень підготовки: третій (освітньо-науковий)
Термін навчання: 2 рік навчання (4 семестр)

Укладачі програми:

Академік НАН України, доктор геол. наук, проф.
 О.М. Пономаренко

Член-кореспондент НАН України, доктор геол. наук,
проф.  Л.М. Степанюк

Київ – 2025 р.

ВСТУП

Програма складена відповідно до навчального плану ІГМР НАН України. Дисципліна відноситься до вибіркового компонента плану навчального процесу.

Викладається у четвертому семестрі другого року навчання в обсязі 3 кредити ЄКТС (90 год). Зокрема: *лекції 40 год, практичні (семінари) – 30 год, самостійна робота – 20 год.* Підсумковий контроль – диференційований залік.

Освоєння дисципліни «Ізотопна геологія» на сучасному рівні необхідно для отримання базових знань з теоретичних основ ізотопної геохімії та радіогеохронології, методів досліджень стабільних ізотопів та визначення часу протікання ендегенних геологічних процесів, принципам обробки отриманих результатів та їх інтерпретації.

1. Цілі та завдання дисципліни, її місце в системі підготовки аспірантів, вимоги до рівня засвоєння змісту дисципліни

1.1. Цілі і завдання вивчення дисципліни

Мета вивчення дисципліни – формування у аспірантів поглиблених професійних знань з геохімії ізотопів та радіогеохронології, методів визначення джерела (верхня кора чи мантія) та часу протікання ендегенних геологічних процесів, формування мінералів, порід та руд.

Завдання дисципліни:

- Ознайомити аспірантів з теоретичними основами ізотопної геохімії та радіогеохронології, методами досліджень стабільних та радіогенних ізотопів, принципами обробки отриманих результатів та їх інтерпретації;
- Сформуванню в аспірантів уявлення про закономірності утворення та фракціонування ізотопів в природних системах, можливості використання даних ізотопного аналізу для оцінки віку порід і мінералів, з'ясування послідовності прояву геологічних процесів в часі і визначення джерел речовини;
- Підготувати аспірантів до застосування отриманих знань при здійсненні геохімічних досліджень.

1.2. Вимоги до рівня підготовки аспірантів, які завершили вивчення даної дисципліни.

Аспіранти, які завершили вивчення даної дисципліни, повинні:

- **Мати уявлення:** про місце ізотопної геології в системі геологічних наук; про еволюцію ізотопних систем в природних об'єктах; можливості отримання достовірної інформації про характер природних процесів на підставі ізотопних даних;
- **Знати:** можливості та обмеження ізотопно-геохімічного дослідження мінералів, порід і руд, особливості апаратури і методичних підходів, що застосовуються для вивчення ізотопних систем;
- **Вміти:** визначати можливі напрямки вивчення конкретних об'єктів методами ізотопної геології; оцінювати достовірність аналітичних даних; аналізувати та інтерпретувати отриману інформацію; викладати в усній і письмовій формі результати свого дослідження і аргументовано відстоювати свою точку зору в дискусії.

1.3. Зв'язок з попередніми дисциплінами

Курс передбачає наявність у аспірантів знань з загальної та аналітичної хімії, загальної геології, геохімії, мінералогії та петрографії в обсязі програми вищої професійної освіти.

1.4. Зв'язок з подальшими дисциплінами

Знання та навички, отримані аспірантами при вивченні даного курсу, необхідні для підготовки і написання дисертації за спеціальністю 103 «Науки про Землю»

2. Зміст дисципліни

2.1. Обсяг дисципліни, види навчальної роботи (у годинах та залікових одиницях)

Вид учбової роботи	Обсяг годин
Трудомісткість вивчення дисципліни	90
Обов'язкова аудиторна учбова навантаження (всього)	70
Лекції (всього)	40
Практичні/семінари (всього)	30
Самостійна робота аспіранта (всього)	20

2.2. Розподіл дисципліни види занять

№ з/п	Назва розділу дисципліни	Обсяг годин		
		лекції	семінари	самоств. робота
1	Розділ 1. Теоретичні та методичні основи ізотопної геології	10	3	5
2	Розділ 2. Ізотопна геохронологія	10	9	5
3	Розділ 3. Геохімія радіогенних ізотопів	10	9	5
4	Розділ 4. Геохімія стабільних ізотопів легких елементів	10	9	5
ВСЬОГО:		40	30	20

2.3. Лекційні та семінарські заняття, їх тематика та обсяг

№ з/п	Назва	Обсяг навчальних занять (год.)	
		Лекції	Семінари
Розділ 1. Теоретичні та методичні основи ізотопної геології			
1	Поняття про радіогенні, радіоактивні і стабільні ізотопи, правила поширеності нуклідів в природі. Процеси поділу ізотопів в природі. Застосування ізотопів в науках про Землю.	2	0
2	Предмет ізотопної геології. Внутрішня будова атомів, протони і нейтрони, дефект маси, стабільність ядер і поширеність ізотопів. Механізми розпаду радіоактивних атомів. Головні причини варіації поширеності ізотопів. Основні розділи ізотопної геології: ізотопна геохронологія та геохімія ізотопів.	2	0
3	Історичний екскурс. Вік Землі та історія вирішення питання.	3	1

	Відкриття явища радіоактивності і перші дослідження його використання в геології. Відкриття фракціонування ізотопів легких елементів. Винахід мас-спектрометра і розвиток методів ізотопних досліджень.		
4	Фракціонування стабільних ізотопів легких елементів. Природні процеси, що призводять до фракціонування. Основні поняття, залежності і способи вираження концентрацій ізотопів. Фракціонування та змішування. Стаціонарні процеси. Коефіцієнт фракціонування. Ізотопне відношення. Ізотопний ефект. Ізотопний зсув. Рівноважне та кінетичне фракціонування. Вираз (представлення) концентрацій ізотопів. Міжнародні стандарти.	3	2
Розділ 2. Ізотопна геохронологія			
5	Принципи ізотопної геохронології. Явище радіоактивності, закон радіоактивного розпаду, ланцюги ділення ядер, основні рівняння.	1	0
6	K-Ar і ^{40}Ar - ^{39}Ar методи датування. Геохімія K і Ar, основні мінерали геохронометри. Методика проведення досліджень, апаратура для ізотопного аналізу, представлення результатів. Можливості та обмеження методу, використання нейтронної активації, метод вікових спектрів, локальний метод датування.	2	2
7	Rb-Sr метод датування. Геохімія Rb і Sr, основні мінерали геохронометри, використання проб порід в цілому, проблема обліку «звичайного» стронцію, сутність ізохронного методу. Методика досліджень, підготовка проб для ізотопного аналізу і апаратура, що застосовується. Можливості та обмеження методу.	2	2
8	U-Pb метод датування. Геохімія U і Pb, особливості U-Pb ізотопної системи, діаграма з Конкордією, основні мінерали геохронометри, локальні методи ізотопного датування. Мінерали геохронометри (циркон, монацит, титаніт)	3	3
9	Критерії надійності ізотопного датування. Порушення замкнутості ізотопної системи, «омолоджені» віки, хибні ізохрони, порівняння значень віку, отриманих різними методами, мінералого-петрографічні критерії. Основні причини спотворення віку.	1	1
10	Короткий огляд інших методів ізотопного датування. K-Ca, Sm-Nd, Lu-Hf і Re-Os методи, космогенні ізотопи, методи, засновані на порушеннях рівноваги в рядах розпаду урану, треки розподілу урану.	1	1
Розділ 3. Геохімія радіогенних ізотопів			
11	Поняття початкового або первинного ізотопного відношення, причини варіацій початкових ізотопних відношень $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ і інших елементів. Радіогенні ізотопи в метеоритах, початковий ізотопний склад Землі. Особливості геохімії радіогенних ізотопів кори континентального типу, океанічної кори, мантії, поняття збагаченого і виснаженого (деплетованого) джерел.	3	3
12	Sr-Nd ізотопна систематика. Різні форми представлення початкових ізотопних складів Sr і Nd, ізотопна Sr-Nd діаграма та її квадранти, гіпотетичні джерела речовини сучасних	3	3

	вулканічних порід. Еволюція в часі ізотопного складу Sr і Nd в мантії і корі.		
13	Геохімія ізотопів Pb. Первозданний свинець, звичайний свинець, параметр μ . Одностадійна, двостадійна і багатостадійна моделі еволюції ізотопного складу свинцю. Ізотопний склад свинцю сучасних вулканічних порід.	4	3
Розділ 4. Геохімія стабільних ізотопів легких елементів			
14	Варіації ізотопів легких елементів в природних об'єктах. Поняття ізотопного резервуара. Масштаби природних варіацій стабільних ізотопів легких елементів в природних резервуарах. Поширеність, особливості поведінки і способи вимірювання ізотопного складу різних елементів в природних об'єктах. Ізотопи вуглецю, азоту, сірки в екосистемах.	2	1
15	Принципи ізотопного аналізу O, C, H, S, N. Методи підготовки проб для ізотопного аналізу легких елементів. «Ізотопний» аналіз води, карбонатів, силікатів. Принципи ізотопної мас-спектрометрії. Мас-спектрометрія в режимі подвійного напуску. Мас-спектрометрія в безперервному потоці гелію. Робочий еталон і міжнародна шкала для вираження ізотопного складу елементів.	2	1
16	Ізотопи кисню і водню в гідросфері Землі. Властивості ізотопно-заміщених молекул води. Рівноважне та кінетичне фракціонування в системі вода-пар. Закрита і відкрита системи. Релеєвська конденсація в ізотермічній і неізотермічній системах як фактор формування ізотопного складу атмосферних опадів. Основні водні резервуари Землі і варіації їх ізотопного складу.	1	1
17	Стабільні ізотопи N, O і C в атмосфері. Вільний азот атмосфери. Індикаторна роль окислів азоту в атмосфері. Кисень в атмосфері. Мас-незалежне фракціонування ізотопів кисню в атмосфері. Ізотопний склад вуглекислого газу атмосфери. Антропогенне джерело CO ₂ . Джерела і поглиначі антропогенного вуглекислого газу.	1	0
18	Ізотопна систематика вуглецю. Ізотопне фракціонування вуглецю при фотосинтезі. C3 і C4 типи фотосинтезу. Форми вуглецю в океані, «біологічний насос». Вуглець карбонатів і органічний вуглець. Основні резервуари вуглецю. Ізотопний склад вуглецю в історії Землі.	1	1
19	Біогенні карбонати. Особливості ізотопного складу карбонатів. Ізотопні шкали PDB і SMOW. Принципи ізотопної палеотермометрії. Карбонатні термометри. Причини коливань ізотопного складу і температури палеоокеану. Цикли Міланковича. Ізотопний склад кисню бентосних і планктонних карбонатних організмів. Кінетичний і метаболічний ізотопні ефекти, пов'язані з життєдіяльністю. Порушення ізотопної системи карбонатів в процесах діагенезу.	1	1
20	Ізотопна термометрія. Принцип ізотопної термометрії. Залежність коефіцієнта фракціонування ізотопів від температури. Властивості рівнянь фракціонування. Високотемпературні безводні системи, системи мінерал-вода.	1	2

	Критерії застосовності ізотопної термометрії. Види ізотопних термометрів. Емпіричні термометри. Експериментальні термометри - методи отримання та оцінки ступеня протікання реакцій ізотопного обміну. Застосування ізотопно-кисневої термометрії.		
21	Ізотопи сірки, фракціонування в неорганічних реакціях. Сульфідні ізотопні термометри.	1	2
Всього:		40	30

2.4. Самостійна робота аспірантів, її зміст і обсяг

Зміст самостійної роботи	Обсяг самостійної роботи (години)
Підготовка реферату	20
Всього:	20

Підтримка самостійної роботи: бази даних та ресурси, доступ до яких забезпечено з мережі ІГМР НАН України.

3. Система поточного та підсумкового контролів результатів навчання, критерії і шкала оцінювання знань

Поточний контроль проводиться у формі роботи активної роботи на лекційних заняттях, виступів на семінарах, підготовки реферату.

Підсумковий контроль передбачає диференційований залік.

Оцінювання окремих видів виконаної аспірантом навчальної роботи і набутих знань та умінь (в балах)

Розділ 1	
Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Активна робота на лекційних заняттях	2
Виступи на семінарах	15
Розділ 2	
Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Активна робота на лекційних заняттях	3
Виступи на семінарах	15
Розділ 3	
Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Активна робота на лекційних заняттях	3
Виступи на семінарах	15
Розділ 4	
Вид навчальної роботи	Максимальна кількість балів
Активна робота на лекційних заняттях	2
Виступи на семінарах	15
Реферат	30
Всього:	100

Критерії оцінювання реферату:

- глибоке розкриття проблеми, відображена власна позиція - 25-30 балів
- обґрунтоване розкриття проблеми - 20-25 балів
- тема розкрита неповно - 15-20 балів
- реферат суто компілятивного рівня - 10-15 балів
- розкритий лише окремий аспект - 5-10 бали
- реферат не зарахований - 0-5 балів

Тема реферату надається індивідуально кожному аспіранту викладачем дисципліни.

Аспірант вважається допущеним до підсумкового контролю (диференційованого заліку), якщо він виконав всі види робіт, передбачені навчальним планом. Аспірант допускається до диференційованого заліку за умови наявності 60 балів або більше.

У випадку відсутності аспіранта на диференційованому заліку, який він повинен обов'язково скласти, з будь-яких причин, проти його прізвища у відомості робиться запис «Не з'явився». Питання подальшого проходження аспірантом диференційованого заліку у цих випадках вирішується в установленому порядку.

Шкала оцінювання знань аспірантів на диференційованому заліку

<i>100-бальна шкала</i>	Оцінка за національною шкалою	Визначення
<i>90 – 100</i>	відмінно	Відмінно – відмінна відповідь, виконання роботи лише з незначною кількістю помилок
<i>80 – 89</i>	добре	Дуже добре – вище середнього рівня з кількома помилками
<i>70 – 79</i>		Добре – в загальному правильна відповідь, робота з певною кількістю грубих помилок
<i>60 – 69</i>	задовільно	Задовільно – непогано, але зі великою кількістю недоліків
<i>1 – 59</i>	незадовільно	Незадовільно

4. Рекомендована література:

Азбель И.А., Толстихин И.Н. Радиогенные изотопы и эволюция мантии Земли, коры и атмосферы. - Апатиты, Кольский фил. АН СССР, 1988. - 140 с.

Горохов И.М. Рубидий-стронциевый метод изотопной геохронологии. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 152 с.

Довбуш Т.І., Скобелев В.М., Степанюк Л.М. Методичні рекомендації з уран-свинцевого, рубідій-стронцієвого та самарій-неодимового ізотопного датування геологічних об'єктів при ГРР” Методичні рекомендації. – Київ.: УкрДГРІ, 2008. – 77с.

Овчинников Л.Н., Степанов А.И., Вороновский С.Н. О причинах искажения калий-аргоновых дат // Проблемы геохронологии и изотопной геологии. - М.: Наука, 1981. - С.3-32.

Рудник В.А., Соботович Э.В. Ранняя история Земли. - М.: Недра, 1984. - 350 с.

Соботович Э.В. Изотопы свинца в геохимии и космохимии. - М.: Атомиздат. - 1970. - 349 С.

Справочник по изотопной геологии / Э.В.Соботович, Е.Н.Бартницкий, О.В.Цьонь, Л.В.Кононенко. - М.: Энергоиздат, 1982. - 240 с.

Степанюк Л.М., Курило С.І. Геохімія двопольовошпатових гранітоїдів Середнього Придніпров'я. Київ. Наук. думка, 2019. 207 с.

Степанюк Л.М., Довбуш Т.І., Висоцький О.Б., Лісна І.М., Білан О.В. Циркон та монацит як геохронометри. *Мінерал. журн.* 2022. 44, №1. С.41-55.

Степанюк Л.М., Довбуш Т.І. Основні причини спотворення віку в уран-свинцевій ізотопній радіогеохронології. *Мінерал. журн.* 2023. 45, № 2. С. 84—99.

Степанюк Л.М., Довбуш Т.І., Висоцький О.Б., Бельський В.М., Зюльцле О.В., Яськевич Т.Б., Котвіцька І.М. Уран-свинцева геохронологія за титанітом, переваги та обмеження. *Мінерал. журн.* 2022. 44, № 3. С. 83-98.

Леонід Степанюк. *Монацитометрія Українського щита (Волинський і Дністровсько-Бузький мегаблоки)*. - Київ. Видавничий дім «Академперіодика» НАН України, 2024. – 232 с.

Фор Г. Основы изотопной геологии: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. - 590 с

DePaolo D.J. and Wasserburg G.J. Nd isotopic variations and petrogenetic models // *Geophys. Res. Letters*, -1976. -3. - P.249-252.

Taylor S.R., McLennan S.M. The continental crust: Its evolution and composition. London: Blackwell, -1985. - 312 p.