

## ГАММА-СПЕКТРОМЕТРІЯ ЗАКАРПАТСЬКИХ ЦЕОЛІТІВ

М.М.Стець, М.В.Стець

Інститут електронної фізики НАН України,  
вул.Університетська, 21, Ужгород, 88017

Виконано гамма-спектрометрію трьох типів закарпатських цеолітів (сокирнітів) із трьома типами радіоактивних розчинів на основі розчину азотнокислого уранілу. Визначено одновимірні (відносні питомі активності та коефіцієнти концентрування  $KK$ , та двовимірні (залежності вказаних вище величин від тривалості контакту "розчин+цеоліт", концентрації розчинів, співвідношення "маса розчину/маса цеоліту") кількісні характеристики для Zr-95, Nb-95, Ru-103, La-140, Th-231; Th-234; Pa-234m, U-235. Експериментально встановлено сорбційну здатність досліджуваних типів цеолітів для вказаних вище нуклідів. Встановлено концентруючу здатність ( $KK>1$ ) сокирнітів для Zr-95, Nb-95, La-140, Th-234; Pa-234m.

### Вступ

Дослідження цеолітів (з метою їх практичного використання) є цікавою фізико-хімічною проблемою; з іншого боку, дослідження сорбційних та концентруючих властивостей цеолітів – складне багатофакторне завдання. Серед факторів, що впливають або можуть впливати на сорбційні здатності, можна назвати цеоліти до контакту (ЦД) – тип цеоліту (в нашому випадку є цікавим дослідження закарпатських природних та модифікованих цеолітів, перш за все сокирніту), їх однорідність (гомогенність), зернистість, вологість; розчини до контакту (РД) – хімічний склад (для використання гамма-спектрометрії як інструментарію для дослідження сорбційних властивостей, очевидно, потрібні радіоактивні розчини, в яких можуть проходити складні радіохімічні процеси, обумовлені радіолізом, утворенням "гарячих" атомів і т.д.; з іншого боку, для вирішення практичних завдань потрібно досліджувати розчини, складні за своїм хімічним складом); цеоліт+розчин – схема контакту (статична, динамічна), тривалість контакту; співвідношення маса розчину/маса цеоліту, тем-

пература контакту; цеоліт після контакту (ЦП) – агрегатний стан, збереження властивостей, сорбційна ємність; розчин після контакту (РП) – агрегатний стан та хімічний склад, радіоактивність та ін.

Важливим моментом при організації експерименту є також прогноз вигляду (ходу) залежностей кількісних характеристик від факторів впливу на сорбцію: (лінійна ( $kx+b$ ); нелінійна ( $\log x$ ;  $x^{2n}$ ;  $a^{2x}$ ); монотонна; немонотонна (з екстремумами); комбінована і т.д).

Не менш важливим є вибір діапазону можливих значень (рівнів) факторів впливу: тривалості контакту (секунди, хвилини, години, дні); концентрації нукліду(-ів) у розчинах ( $10^{-10}$ ÷ $10^1$ ) Кі/кг; співвідношення маса розчину/маса цеоліту (1; 5; 10; 20...); рН (1÷12). Зрозуміло, що ці моменти впливають на вибір масштабу та кількість експериментальних точок, що суттєво впливає на тривалість та вартість експериментального дослідження. Важливим в організації експерименту є вибір зручних та репрезентативних шкал вимірювання факторів: тривалостей  $K$  контакту (часова шкала), концентрацій гамма-активних нуклідів у розчинах та цеолітах (відносна або абсолютна шкала), тощо.

Таким чином, факторна розмірність проблеми дослідження сорбційної здатності цеолітів з використанням гамма-спектрометрії – велика, тому важливою є завдання виявлення та елімінації несуттєвих на певних етапах дослідження факторів та зменшення кількості їх рівнів при збереженні інформативності отриманих даних. Зауважимо, що публікації з кількісними характеристиками сорбційної здатності (як функції різних факторів) цеолітів, у тому числі і сокирнітів, практично відсутні (незважаючи на використання сокирнітів у практиці, зокрема, в зоні ЧАЕС).

### Методика експерименту

**Вибір та приготування зразків цеолітів.** У ролі зразків для досліджень було вибрано сокирніт (цеолітовий туф Сокирницького родовища), який являє собою подрібнену гірську породу. Основним компонентом сокирніту є цеолітний мінерал клиноптилоліт, якому притаманні іоннообмінні та адсорбуючі властивості. Його хімічна формула дуже складна і може бути записана так [1]:  $(K_2, Na_2, Ca)[Al_2Si_7O_{18}] \cdot 6H_2O$ .

Було досліджено три типи сокирнітів різної зернистості: 1-й тип – сокирніт зернистістю менше 0,1 мм; 2-й тип – сокирніт зернистістю 0,1–1 мм; 3-й тип – модифікований сокирніт зернистістю менше 0,01 мм. З кожного з вказаних типів було виготовлено зразки у вигляді пластинок по 10 г кожна.

**Приготування радіоактивних розчинів.** З радіоактивного розчину азотнокислого уранілу  $UO_2(NO_3)_2 \cdot nH_2O$ ,  $n=2-6$  було виготовлено розчини різних типів: 1-й тип (НУРД) – розчин азотнокислого уранілу; 2-й тип – розчин опроміненого азотнокислого уранілу, який отримано шляхом опромінення гальмівним випромінюванням на мікротроні М-30 ІЕФ НАНУ з такими параметрами: максимальна енергія гальмівних гамма-квантів 15 МеВ, тривалість опромінення – 2 години; 3-й тип (УРД) – розчин типу 2 після

декількох циклів висушування/розчинення дистильованою водою, тривалість охолодження (проміжку часу між моментом закінчення опромінення та початком експерименту) – 1 рік.

Із вказаних типів було виготовлено радіоактивні розчини різних концентрацій. У таблиці 1 наведено код та тип цеолітів, їх зернистість, тип розчинів, з якими контактували зразки цеолітів і значення рН.

Таблиця 1.  
Комбінація факторів “цеоліт-розчин”

1	2	3	4	5	6	7
ОУЦ	1	<0,1	ОУРД	1	1	6
НУЦ	1	<0,1	НУРД	1	2	7
УЦ	1	<0,1	УРД	6	3	8
УЦБ	2	0,1-1	УРД	6	4	9
УЦК	3	<0,01	УРД	6	5	10

Примітка: 1 – код цеоліту; 2 – тип цеоліту; 3 – зернистість цеоліта (мм); 4 – код розчину; 5 – рН; 6 – NN позначень для Th-234 (див. рис. 1, 2, 5, 6, 9, 10); 7 – номери позначень для U-235 (див. рис.1, 2, 5, 6, 9, 10).

**Схема контакту “розчин+цеоліт”.** Із різноманіття можливих схем контакту “розчин+сорбент” було вибрано статичну схему контакту (схема елюювання). Тривалість  $K$  контакту – від 1 до 48 годин. Маса зразків розчину, яка вступала в контакт з цеолітом, була різною – від 50 до 200 г.

**Гамма-спектрометрія зразків.** Радіоактивність вимірювалась на гамма-спектрометричному комплексі, який складався з напівпровідникового Ge(Li) детектора ДГДК-100В та спектрометра SBS-40. Гамма-активні нукліди потрапляли на детектор, а потім аналізувалися спектрометром, який, крім вимірів апаратурних гамма-спектрів (АГС), здійснює і їх обробку: пошук та ідентифікацію піків повного поглинання, ліній гамма-активних нуклідів та власне гамма-активних нуклідів (ГАН) [6].

На основі аналізу отриманих АГС цеолітів до і після контакту з радіоактивним

розчином, цих же розчинів до і після контакту з цеолітом як аналітичні ГАН були вибрані Th-234 (період напіврозпаду  $T_{1/2}=24,1$  діб; енергія аналітичної лінії  $E=63,3$  KeV), Pa-234m (1,17 хв., 1001,03 KeV), як представники ряду U-238; U-235 ( $7,04 \cdot 10^8$  р.; 143,76 KeV) – як представник ряду U-235; La-140 (40,27 діб; 487,03 keV); Ru-103 (39,6 діб; 496,9 keV); Zr-95 (63,98 діб; 724,18 keV; 756,71 keV); Nb-95 (35,045 діб; 765,78 keV) [ 2 ] – як уламки фотоподілу урану.

У програмі обробки АГС передбачено, зокрема, розрахунок інтенсивності піків гамма активних нуклідів, тобто  $I=\Delta S/T$ , де  $T$  – реальна тривалість виміру, а  $\Delta S$  – площа піка. На основі одержаних значень інтенсивності було визначено відносну питому активність  $A_{відн}$  та коефіцієнт концентрування  $KK$  (множина значень):

$$A_{відн} = I/M;$$

$$A_{відн} (ЦП) = I/(M(ЦП) - M(ЦД));$$

$$KK = A_{відн} (ЦП) / A_{відн} (РД),$$

де  $M$  – маса зразка.

Відносна питома активність  $A_{відн}$ , визначена для конкретного ГАН, характеризує сорбційну здатність цеоліту, а коефіцієнт концентрування  $KK$  є кількісною характеристикою його концентруючої здатності. Значення  $A_{відн}$  і  $KK$  було розраховано для кожної аналітичної лінії ГАН (див. вище). Вони є одновимірними характеристиками сорбційної та концентруючої здатності.

### Експеримент

Досліджено наступні двовимірні залежності (див. табл. 1): залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт”; залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від концентрацій  $A$  розчинів; залежність  $A_{відн}$  та  $KK$  від співвідношення  $R$  ( $R$  - відношення маси розчину до маси цеоліту).

**Залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від тривалості контакту “розчин + цеоліт”.** Для оцінки залежності динаміки сорбції на конкретних зразках цеолітів, а також

стійкості цеолітів при контакті з таким хімічно активним розчином, як азотно-кислий ураніл, було вибрано та реалізовано наступну шкалу тривалостей  $K$  контакту “розчин–цеоліт”:  $K$ , год = 1, 2,5, 4, 22, 24, 45, 48.

**Залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від концентрацій розчинів.** Для оцінки сорбційної здатності конкретних зразків у залежності від концентрації ГАН у розчині (тобто їх питомих активностей) вибрано шкалу відносних концентрацій  $A$ . Цю шкалу було розраховано на основі отриманих експериментально значень  $A_{відн}$  для ліній: 143,8 KeV; 163,3 KeV; 185,7 KeV ГАН U-235. За “одиницю” цієї шкали вибрано значення  $A_{відн}$  для одного конкретного розчину. Значення концентрацій  $A$  для використаних типів розчинів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Значення відносних концентрацій розчинів

Код	A1	A2	A3	A4
НУРД	3,34	1,82	1	0,17
ОУРД	7,18	4,06	1,63	-
УРД	3,39	1,98	1,11	-

**Залежність  $A_{відн}$  та  $KK$  від співвідношення  $R$  “маса розчину/ маса цеоліту”.** Співвідношення  $R$  є важливим параметром при дослідженні сорбційних здатностей, оскільки характеризує ємність сорбенту для одного або кількох конкретних хімічних елементів чи сполук (в нашому випадку ГАН), а також можливу тривалість експлуатації досліджуваного сорбенту. Сорбент є також і об’єктом спектрометрії, для якої зручні зразки невеликої маси. Для дослідження цієї залежності вибрано та реалізовано таку шкалу співвідношення  $R$ : 5(R1); 10(R2); 20(R3), для  $M(Ц)=10$  г.

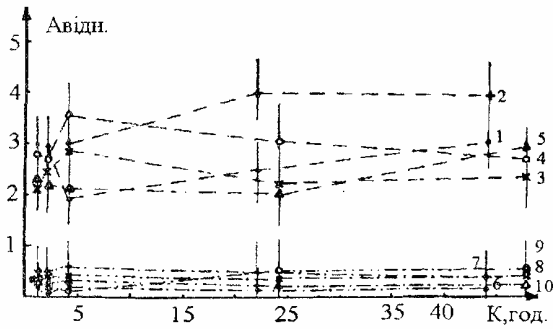


Рис.1. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  (імп. розп.)/( $\gamma$ -квант. с-г) Th-234 (1-5) і U-235 (6-10) від тривалості  $K$  контакту ( $A3$ ,  $R=5$ ) у цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

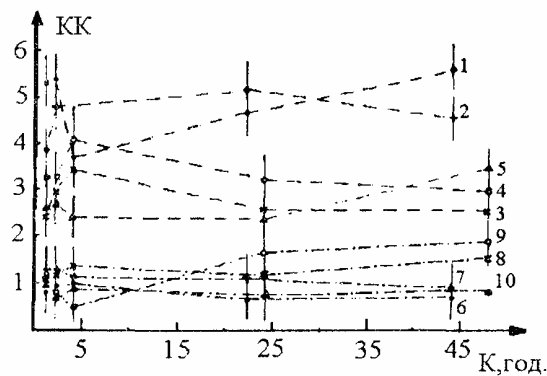


Рис.2. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  Th-234 (1-5) і U-235 (6-10) від тривалості  $K$  контакту ( $A3$ ,  $R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

**Вибір значень  $K$ ,  $A$ ,  $R$ .** Експериментальне дослідження вказаних вище залежностей було виконане для таких значень  $K$ ,  $A$ ,  $R$ : залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт” ( $A1; R1$ ); залежність значень  $A_{відн}$  та  $KK$  від концентрацій  $A$  розчинів ( $K=22; R1$ ); залежність  $A_{відн}$  та  $KK$  від співвідношення  $R$  ( $A1; K=22$ ), див. табл. 1, 2.

Частково результати цих досліджень наведено в наших попередніх роботах [3–5].

Експериментальні дані, отримані в даній роботі, показано на рис. 1–12.

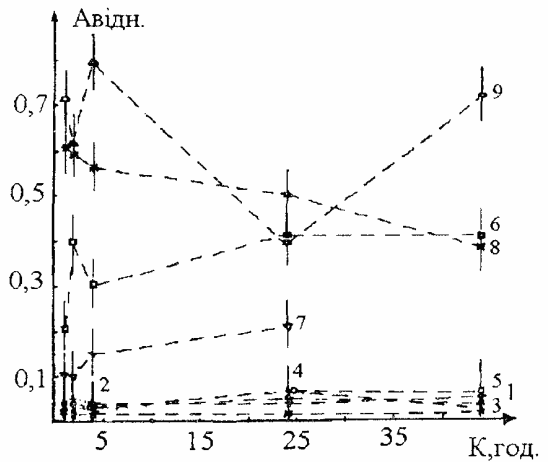


Рис.3. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  від тривалості  $K$  контакту (ОУРД;  $A=1,63$ ;  $R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4,5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

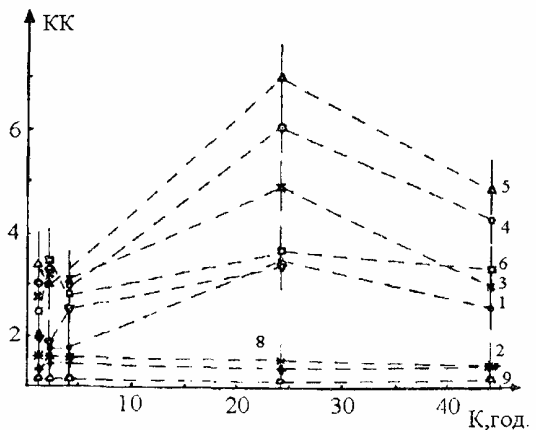


Рис.4. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  від тривалості  $K$  контакту (ОУРД;  $A=1,63$ ;  $R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4,5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

**Аналіз відносних питомих активностей  $A_{відн}$ .** Як було зазначено, відносні питомі активності характеризують сорбційні здатності. Зробимо оцінку сорбційної здатності досліджуваних типів цеолітів для вказаних вище залежностей.

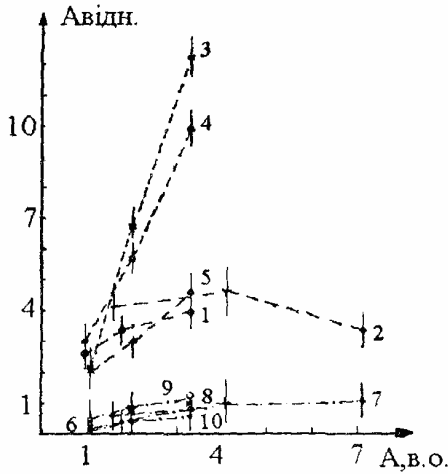


Рис.5. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  (імпр-розп)/( $\gamma$ -квант·с·г) Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від відносної концентрації  $A$  розчину ( $K=22; 24, R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

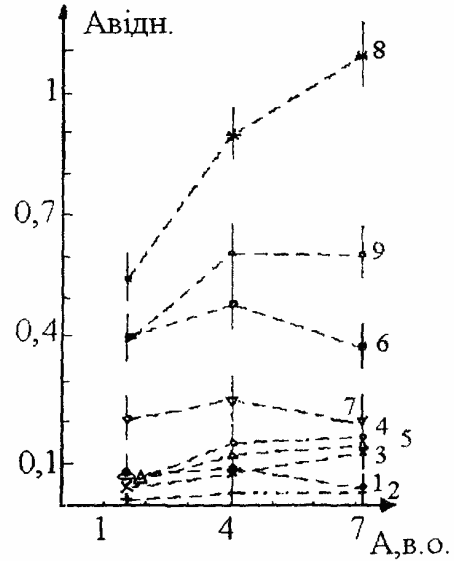


Рис.7. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від відносної концентрації  $A$  (ОУРД,  $K=22; R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4,5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

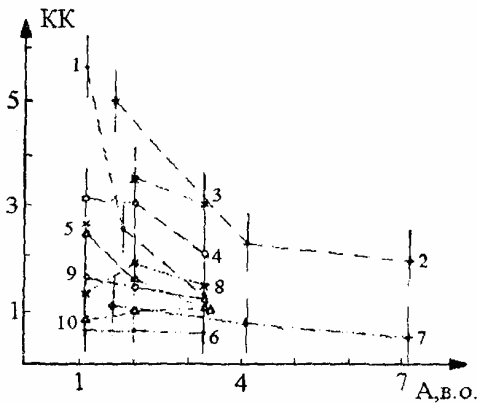


Рис.6. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від відносної концентрації  $A$  ( $K=22; 24, R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

**Залежність значень  $A_{відн}$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт”.** Вказані залежності наведено на рис. 1, 3. Незважаючи на помітний розкид значень  $A_{відн}$  можна констатувати незалежність значень  $A_{відн}$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт”. Діапазон значень  $K \leq 1-4$  год потребує більш детального аналізу та, можливо, окремого дослідження, оскільки не виключено, що на цьому проміжку часу йдуть певні, цікаві з практичної точки зору, обмінні процеси між розчином та цеолітом.

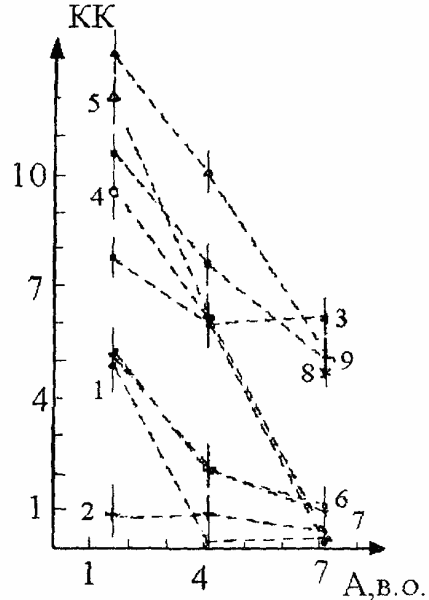


Рис.8. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від відносної концентрації  $A$  (ОУРД,  $K=22; R=5$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4,5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

**Залежність значень  $A_{відн}$  від концентрацій  $A$  розчинів.** Вказані залежності наведено на рис. 5, 7. Для всіх досліджуваних ГАН спостерігається зростання значень  $A_{відн}$  зі збільшенням значень концентрацій  $A$ .

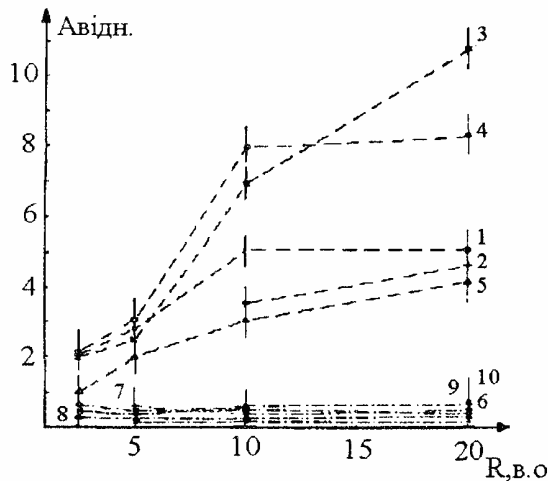


Рис.9. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  (імпр-розп) / ( $\gamma$ -квант-с-г) Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від співвідношення  $R$  ( $K=22; 24, A3$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

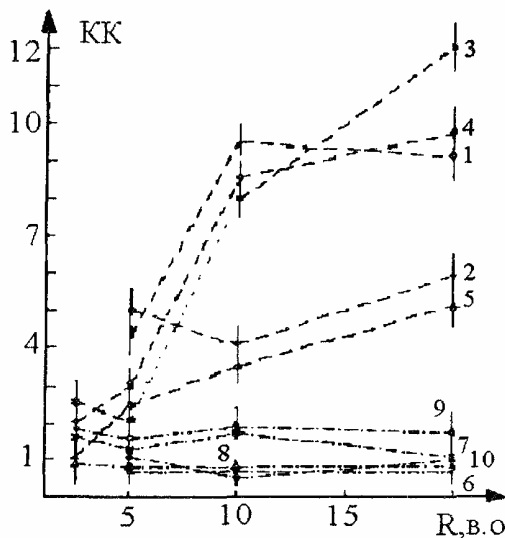


Рис.10. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  Th-234 (1–5) і U-235 (6–10) від співвідношення  $R$  ( $K=22; 24, A3$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” (значення інших факторів див. табл.1).

**Залежність  $A_{відн}$  від співвідношення  $R$  “маса розчину / маса цеоліту”.** Вказані залежності представлено на рис. 9, 11. Для всіх досліджуваних ГАН, за винятком U-235, спостерігається зростання значень  $A_{відн}$  від значень  $R$ . Для U-235 залежність практично відсутня.

**Аналіз коефіцієнтів концентрування  $KK$ .** Якщо відносні питомі активності характеризують сорбційні здатності цеоліту, то  $KK$  є характеристикою його концентруючої здатності. Зробимо оцінку концентруючої здатності досліджуваних типів цеолітів для вказаних вище залежностей. Відзначимо, що досліджувані ГАН можна (на даному етапі орієнтовно) класифікувати за значеннями  $KK$  (у напрямку зменшення значень) на 3 групи:  $KK \geq 1$ ;  $1 \geq KK \geq 1$ ;  $1 \geq KK$ .

**Залежність значень  $KK$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт”** (див. рис.2, 4):  $KK \geq 1$  – Th-234; Pa-234m; Nb-95; Zr-95; La-140;  $1 \geq KK \geq 1$  – U-235;  $1 \geq KK$  – Ru-103.

Незважаючи на помітний розкид значень  $KK$ , можна констатувати незалежність значень  $KK$  від тривалості  $K$  контакту “розчин+цеоліт”.

**Залежність значень  $KK$  від концентрацій  $A$  розчинів** (див. рис. 6,8):  $KK \geq 1$  – Th-234; Pa-234m;  $1 \geq KK \geq 1$  – Th-231; U-235; Nb-95; Zr-95; La-140;  $1 \geq KK$  – Ru-103.

Характерним для цього типу залежностей є зменшення значень  $KK$  зі збільшенням значень концентрацій розчинів.

**Залежність  $KK$  від співвідношення  $R$**  (див. рис.10, 12):  $KK \geq 1$  – Th-234; Pa-234m; Nb-95; Zr-95; La-140;  $1 \geq KK \geq 1$  – Th-231; U-235;  $1 \geq KK$  – Ru-103.

Характерним для цього типу залежностей є збільшення значень  $KK$  зі збільшенням співвідношення  $R$ . Винятком є U-235, де  $KK$  практично не залежить від  $R$ .

**Аналіз залежностей питомих активностей  $A_{відн}$  та коефіцієнтів концентрування  $KK$  від типу цеоліту.** На даній стадії досліджень сорбційної та концентруючої здатності цеолітів не відмічено суттєвої відмінності отриманих кількіс-

них характеристик від типу цеоліту, в тому числі і, в певній мірі, зернистості (див. рис. 1, 2, 5, 6, 9, 10 та табл. 1), що дозволяє в подальшому зосередитись на одному типі цеоліту (сокирніту).

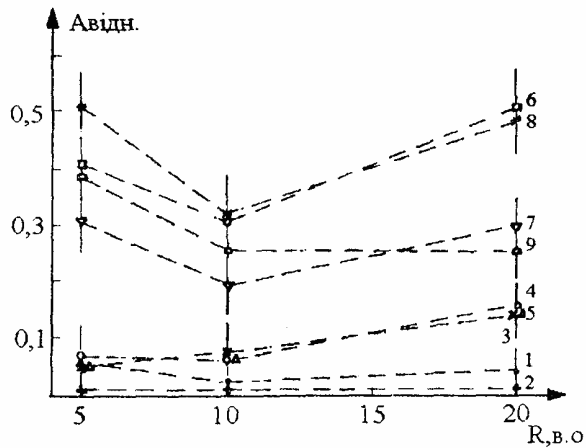


Рис.11. Залежність відносних питомих активностей  $A_{відн}$  від співвідношення  $R$  (ОУРД,  $K=22$ ,  $A3$ ) у цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4,5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

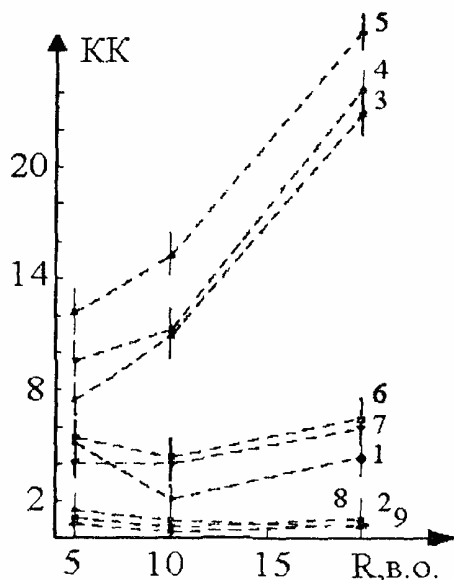


Рис.12. Залежність коефіцієнтів концентрування  $KK$  від співвідношення  $R$  (ОУРД,  $K=22$ ,  $A3$ ) в цеолітах після контакту “розчин+цеоліт” для La-140 (1); Ru-103 (2); Nb-95 (3); Zr-95 (4, 5); Th-234 (6); Pa-234m (7); U-235 (8); Th-231 (9).

**Аналіз залежностей питомих активностей  $A_{відн}$  та коефіцієнтів концентрування  $KK$  від значень рН розчину.** На даній стадії досліджень сорбційної та концентруючої здатності цеолітів не відзначено суттєвої відмінності отриманих кількісних характеристик від рН розчину (див. рис. 1, 2, 5, 6, 9, 10 та табл. 1). Кінцевий висновок про вплив значень рН на сорбційні та концентруючі властивості цеолітів буде зроблений після проходження всієї лінійки рН=1–12.

Аналіз експериментальних даних з дослідження сорбційної здатності цеолітів підтверджує багатофакторність цієї проблеми. Вкажемо основні фактори, які відомі, але поки не враховані, і тому можуть розглядатись, як джерела систематичних відхилень. Зокрема, необхідно враховувати періоди напіврозпаду аналітичних ГАН. Регламент експерименту було організовано таким чином, щоб цей фактор елімінувати (цикли однотипних вимірів виконувалися протягом 1–2 днів). Дочірні ГАН U-238 (перш за все Th-234, Pa-234m) і U-235 (перш за все Th-231) потрапляють у цеоліт під час контакту з розчином; одночасно вони утворюються з U-238 і U-235, які також сорбувалися в цеоліт. Зміна радіоактивної рівноваги і її поступове відновлення призводить також до появи інших дочірніх ГАН з рядів U-238 і U-235. Цей факт також потребує уваги при повторних вимірах. Іншим можливим джерелом систематичних відхилень може бути процедура елюювання розчину після контакту, вологість цеоліту та температурні режими (стабільність робочої температури (15–20<sup>0</sup>С) дозволяє інтерпретувати отримані залежності як гамма-спектрометричний аналог ізотерм адсорбції). Ці та інші фактори, що впливають на розкид експериментальних даних, можна оцінити кількісно.

Назвемо також фактори, що мають випадковий характер. Це, зокрема, статистична похибка внаслідок статистичної природи гамма-випромінювання та його взаємодії з матеріалом детектора; похибка на етапах ідентифікації форми аналітичного сигналу в АГС як гаусіана; похибка

за рахунок неоднорідності матеріалу цеоліту; похибка в процесі підготовки зразків. Цикли повторних вимірів для оцінки сумарної похибки дозволяють дати її верхнє значення  $\pm 15\%$  з довірчою імовірністю 95%, що достатньо для етапів розробки методики.

### Висновки

1. Визначено одновимірні (відносна питома активність та коефіцієнт концентрування), двовимірні (залежності вказаних вище величин від тривалості контакту “розчин+цеоліт”, концентрації розчинів, співвідношення “маса розчину / маса

цеоліту”) кількісні характеристики для Zr-95, Nb-95, Ru-103, La-140, Th-231; Th-234; Pa-234m, U-235.

2. На основі отриманих експериментальних даних зроблено кількісну оцінку можливостей методики (регламенту) дослідження сорбційних та концентруючих властивостей цеолітів з використанням гамма-спектрометричного комплексу ІЕФ НАНУ.

Автори висловлюють подяку докторам ф.м.н. Маслюку В.Т., Неболі І.І., Кельману В.А., доцентам Феделешу В.І., Бузашу В.М. за допомогу при виконанні цієї роботи, а Анталу О.М. та Корбуту М.А. за надані зразки цеолітів.

### Література

1. Ч.Амфлетт, Неорганические иониты (Мир, Москва, 1966).
2. R.V.Firestone, V.S.Shirley (Ed.), Table of Isotopes, 8th edition (John Wiley & Sons, 1996).
3. М.М.Стець, Науковий вісник Ужгородського університету (Ужгород, 2001), сер. фіз, 10, 177.
4. М.М.Стець, В.Т.Маслюк, В.І.Феделеш, Тези доповідей конференції “Екологічна безпека довкілля. Проблеми та шляхи вирішення” (Ужгород, 2002) с.17.
5. М.М.Стець, Конференція молодих вчених та аспірантів ІЕФ 2001. Програма та тези доповідей (Ужгород, 2001), с.40.
6. Спектрометр гамма-випромінювання СЕГ-40 Ge-1К. Інструкція по експлуатації. НПК “Спектр”, (Київ, 1999).

## GAMMA-SPECTROMETRY OF TRANSCARPATHIAN ZEOLITES

**M.M.Stets, M.V.Stets**

Institute of Electron Physics, Ukr. Nat. Acad. Sci,  
21 Universitetska St., 88017 Uzhhorod, Ukraine

Gamma-spectrometry of three types of Transcarpathian zeolites (sokymites) has been performed. The zeolites include three types: type 1 –  $<0,1$  mm grain, type 2 –  $0,1-1,0$  mm grain, type 3 – modified,  $<0,01$  mm grain. Gamma-spectrometric studies were carried out after the static contact (elution scheme, contact duration was 1–48 hours) with three types of radioactive solutions on the basis of nitric acid uranile solution  $UO_2(NO_3)_2 \cdot nH_2O$ : type 1 – the solution of just nitric acid uranile ( $pH=1$ ); type 2 – that of irradiated (M-30 IEP UNAS microtron Bremsstrahlung, 15 MeV maximal energy of gamma-quanta, irradiation duration 2 hours.,  $pH=1$ ); type 3 – the type 2 solution after several drying cycles distilled water solution (1 year after irra-



diation,  $\text{pH}=6$ ). The one-dimensional (relative specific activities and concentrational coefficients,  $CC$ ) and two-dimensional (the dependences of the above volves on the “solution+zeolites” contact duration, solution concentration, “solution mass / zeolites mass” ratio) quantitative characteristics Zr-95, Nb-95, Ru-103, La-140, Th-231, Th-234, Pa-234m, U-235, has been found. The sorption ability of the above zeolite types has been found experimentally for the above nuclides. The concentration ability ( $CC < 1$ ) of sokyrnites has been determined for Zr-95, Nb-95, La-140, Th-234; Pa-234m.