

УДК 552.53[(549.451.1:548.4):539.1.03/.06](477)

## Метод додаткової дози у дослідженні онтогенії галіту Дніпровсько-Донецької западини

Сьомка В. В.<sup>1</sup>, Шехунова С. Б.<sup>2</sup>, Литовченко А. С.<sup>1</sup><sup>1</sup>Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ<sup>2</sup>Інститут геологічних наук НАН України, Київ

Досліджено галіт верхньодевонської та нижньопермської соленосних формацій Дніпровсько-Донецької западини методом додаткової дози по розробленій авторами методиці. Показана можливість її застосування для відновлення етапів перебудови галіту.

Використання соляних формацій як елемента техногенно-геологічної системи (ТГС) ізоляції відходів вимагає детальних досліджень речовини соленосних формацій та оцінки довготривалої безпеки ТГС. Остання зокрема включає визначення процесів та явищ, які можуть вплинути на ТГС у майбутні сотні тисяч років. Протягом цього часу речовина, що ізолюється, не повинна потрапити до біосфери у концентраціях, що перевищують гранично допустимі. Тому така оцінка вимагає всебічного дослідження геологічного об'єкта, який утворився багато мільйонів років тому. Якщо говорити про соленосні формації Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), то це, як відомо, утворення раньопермського та пізньодевонського віку. З того часу соленосні утворення зазнали певних змін. На аналізі та моделюванні цих змін і базується прогноз еволюції формації, що вміщує ТГС ізоляції відходів.

Серед природних геологічних процесів, що впливатимуть на довготривалу безпеку ТГС ізоляції відходів, найзначнішими можуть бути регіональні підняття та опускання, вулканізм, землетруси, падіння метеоритів. Їх вплив на цілісність ТГС проявлятиметься не тільки прямо, але й опосередковано – через перебіг фізичних і хімічних процесів, які змінюють склад вмісних порід і на локальному, і на регіональному рівнях. Зокрема, впливають на перебіг процесів взаємодії у породі твердої і флюїдної фаз. Розкриття механізмів усіх цих процесів можливе лише на основі детального вивчення речовини соленосної формації, в першу чергу, властивостей кам'яної солі та її головного породотвірного мінералу – галіту, які є основними складовими будівельного простору. Тому за мету роботи поставлено оцінку можливості застосування методу додаткової дози для дослідження основних етапів перетворення галіту соленосних формацій ДДЗ.

Розробка та обґрунтування методу досліджень. Метод додаткової дози успішно використо-

вується в геохронологічному датуванні та ретродозиметрії [3]. Сутність його полягає у побудові залежності нагромадження радіаційних дефектів кристалічної ґратки від дози штучного опромінення. Тоді, шляхом екстраполяції швидкості нагромадження дефектів до нульового значення (до перетину кривої з віссю ординат) можна знайти радіаційну дозу, отриману зразком у минулому (або час, впродовж якого зразок знаходився в природному радіаційному полі певної потужності випромінювання). Ми застосували зазначену ідею для дослідження закономірностей нагромадження F-центрів у галіті соленосних формацій ДДЗ з метою дослідження онтогенії мінеральних індивідів, визначення часу останньої перебудови їх кристалічної ґратки. До такої перебудови могли спричинитися значні епігенетичні перетворення, зокрема перекристалізація у процесі галотектокінезу, температурний вплив в результаті магматизму чи гідротермальної діяльності та ін. Щодо впливу температури, то рекомбінація F-центрів помітно проявляється за умов її підвищення понад 100 °C [1], що зумовлює "стирання пам'яті" про попередні етапи перебудови кристалічної ґратки галіту.

Детально розглянемо поведінку кривих нагромадження F-центрів в області невеликих поглинених доз на експериментально отриманих залежностях [2] (рис.). Як було показано раніше [3], концентрація F-центрів у природному галіті збільшується зі зростанням сумарної поглиненої дози за формулою:

$$N_F = \frac{1}{\nu\rho} \ln \left( \nu K \left( \frac{D + D_0}{I} \right) + 1 \right) \quad (1)$$

де D і D<sub>0</sub> – поглинена доза відповідно за умов штучного та природного γ-опромінення. З рівняння (1) маємо

$$D_0 = \frac{I}{\nu K} (e^{\nu\rho N_F} - 1) - D \quad (2)$$

Якщо відомий  $\gamma$ -фон, неважко визначити наближений вік останньої перебудови кристалічної ґратки мінералу, що визначається за відношенням

$$t = \frac{D_0}{I_0} \quad (3)$$

де  $t$  – вік, років;  $D_0$  – поглинена доза, МГр;  $I_0$  – потужність дози природного опромінення на момент формування геологічного утворення, МГр/рік.

Відомо, що джерелом  $\gamma$ -променів є головним чином калій та продукти розпаду урану і торію, що знаходяться в мінералах у різних співвідношеннях. Хоча питома радіоактивність калію значно нижча, його вміст значно вищий, а тому радіоактивність багатьох порід, в тому числі соляних, зумовлена головним чином радіоактивністю калію [4]. Тому надалі  $\gamma$ -фон соленосних формацій пов'язаний з вмістом  $^{40}\text{K}$ .

Використовуючи дані гама-каротажу (табл. 1) та закономірності радіоактивного розпаду, розраховано значення  $\gamma$ -фону на момент формування породи

$$I = I_0 e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}} \quad (4), \text{ звідки}$$

$$I_0 = \frac{I}{e^{-\frac{0,693t}{T_{1/2}}}} \quad (5)$$

де  $I$  – сучасний  $\gamma$ -фон,  $T_{1/2}$  – період напіврозпаду  $^{40}\text{K}$  ( $1,39 \cdot 10^9$  років),  $t$  – ймовірний вік формування соленосної формації (табл. 2).

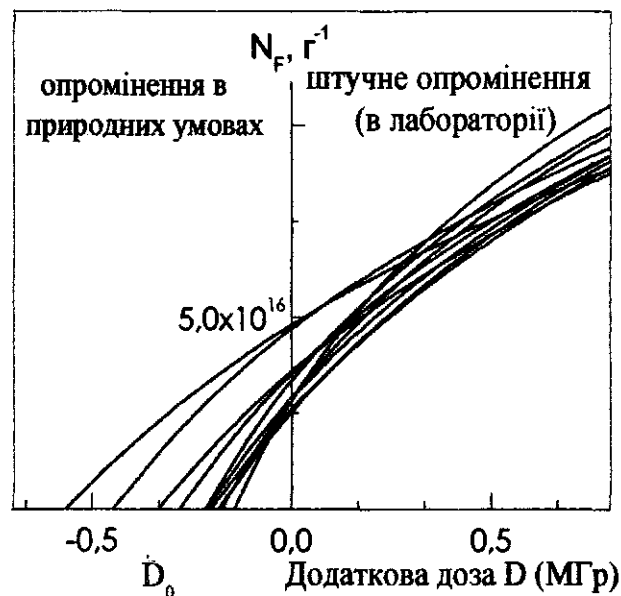


Рисунок. Ілюстрація методу додаткової дози. Природну дозу  $D_0$  визначають за експериментальними даними екстраполяцією кривої нагромадження до нульової ординати

**Об'єкт досліджень.** Об'єктом досліджень був безбарвний галіт з кам'яної солі верхньодевонської (франської) та нижньопермської соленосних формацій ДДЗ. Галіт (оптично чисті фрагменти зерен) становив понад 99 % кам'яної солі, з якої відбирався. Досліджувалися зразки з площ, що мали різну геодинамічну історію та утворюють різні структурні форми.

Новоподільська площа розташована у центральній частині ДДЗ в Івангородській компенсаційній мульді. Нижньопермські відклади відкриті у інтервалі 1837–2800 м и представлені у верхній частині соленосною товщею краматорської світи та шарами вапняків і доломітів з проверстками соляних порід слов'янської та микитівської світ, що залягають субгоризонтально. Натальїнська площа розташована у південно-східній частині Дніпровського сегмента осьової зони ДДЗ на східній перикліналі синкліналі, що сформована на Берестовському щільному грабені, який простягається вздовж південного крила Красноградсько-Сосновської антиклінальної зони. Нижньопермський соленосний комплекс, відкритий у інтервалі 2125–3582 м, який представлений у верхній частині соленосною товщею краматорської світи та перешаруванням вапняків, доломітів, аргілітів, алевролітів різного ступеня осолонення.

Верхньодевонську (франську) соленосну формацію представляли зразки з Північнозагорівської та Кулічихінської площ. Північнозагорівська площа розташована у північно-західній частині північної крайової зони ДДЗ над однойменною брахіантиклінальною ізометричною складкою (з Великозагорівським солянокупольним підняттям у її центральній частині), що розташована між Кінашівським та Варварівським локальними підняттями. В покрівлі соленосної товщі залягають ангідрити, туфопісковики, туфіти. Кулічихінська площа розташована у Синівському прогині (північна крайова зона) на північ від Синівського штока. Пласти кам'яної солі на цих площах залягають відповідно на глибинах 2824–4410 м та 4000–4500 м; представлені перекристалізованою брекчіюваною породою.

Таблиця 1. Значення фону для  $\gamma$ -фону  $^{40}\text{K}$  для деяких проаналізованих зразків

№ зразка	Природний $\gamma$ -фон $^{40}\text{K}$ , мкр/час	
	сучасний за даними гамакаротажу	на час соленакриччя (розрахований за рівнянням (5))
1	8	9,2
2	7	8
4	7	8
7	10	11,5
8	10	11,5
9	8	10
12	9	11

Таблиця 2.

Час останньої перебудови кристалічної ґратки галіту за моделлю додаткової дози

№ зразка	Вік соленосної формації	Площа	Умови залягання	Глибина відбору зразків, м	Час останньої перебудови структури зерен галіту, млн років
1	Рання перм	Новоподільська	пластові	2290-2298	170 ± 57
2				2250-2258	290 ± 120
4				2250-2258	245 ± 100
7	Рання перм	Натальїнська	пластові	2599-2604	280 ± 150
8				2599-2604	290 ± 70
9	Пізній девон	Кулічійська	порушені галотектонічні	4346-4360	410 ± 150
12	Пізній девон	Північно-Загорівська	порушені галотектонічні	3710-3720	410 ± 140

Таблиця 3.

Етапи формування соленосних формацій ДДЗ

Період, вік, млн р.	Геодинамічна ситуація, активізація магматизму та супутніх процесів, палеогеографічні умови	Соленосна формація	
		нижньопермська	верхньодевонська (франська)
Q/ 0,0115	Сучасні неотектонічні рухи; Континентальні умови, часткове поширення льодовикових відкладів		
N/ 23,3	Післясинеклізне прогинання		
Pg/ 65,5			
K/ 145,5	Післясинеклізне прогинання Прояви магматизму та гідротермальної діяльності наприкінці K <sub>2</sub>		Дві фази галактокінезу на початку K <sub>1</sub> та наприкінці K <sub>2</sub>
J/ 299,6	Післясинеклізне прогинання Прояви магматизму та гідротермальної діяльності наприкінці J <sub>1</sub> J <sub>2</sub>		Активізація галотектокінезу (J <sub>1</sub> )
T/ 251,4	Післясинеклізне прогинання Прояви магматизму наприкінці періоду		Незначна активізація галотектокінезу наприкінці T <sub>3</sub>
P/ 299,0	Післярифтогенне прогинання з елементами активізації рифтогенезу Пререзажно морські умови ~ 30 п.ш. Прояви магматизму та гідротермальної діяльності у P <sub>2</sub>	Накопичення соленосних утворень	Дві фази галактокінезу (P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> )
S/ 359,2	Післярифтогенне прогинання Прояви магматизму та гідротермальної діяльності		Дві фази галактокінезу (S <sub>1</sub> , S <sub>2</sub> )
D/ 385,3	Рифтогенез в середині континентальної плити. Переважно морські умови ~ 10° п.ш. Прояви магматизму		Накопичення соленосних утворень

Основні етапи формування соленосних формацій ДДЗ та події, що впливали на їх постседиментаційні перетворення, наведені у табл. 3.

**Обговорення результатів і висновки.** Виконані нами дослідження з визначення часу останньої перебудови кристалічної ґратки галіту показали наступне (табл. 2). Для зразків галіту, відібраних в інтервалі 2250–2298 м Новоподільської та 2599–2609 м – Натальїнської площі час останньої перебудови

оцінено у 170–290 млн р., він фіксує етап утворення соленосних відкладів (~ 290 млн р.), процеси перекристалізації галіту на етапах активізації у пізній пермі (245 млн р.) та наприкінці тріасу - початку юри (170 млн р.). Галіт Кулічійської та Північно-Загорівської площі зберіг структуру, що сформувалася 410 млн р. тому.

Таким чином, отримані дані свідчать про можливість застосування розробленої методики для виз-

начення часу останньої перебудови кристалічної ґратки галіту з метою встановлення основних етапів перебудови соленосних формацій.

Аналіз отриманих результатів показує, що інтенсивна перекристалізація галіту пермської соленосної формації Новоподільської площі відбувалась у декілька етапів, більш спокійні умови встановлено для соленосних відкладів Натальїнської площі. Галіт Північно-Загорівської та Кулічихінської площі зафіксував лише один етап формування кристалічної структури.

Найгізніші перетворення галіту з встановлених нами датуються у 100 млн років, що дозволяє говорити про збереження цілісності структури кам'яної солі протягом цього часового інтервалу і дозволяє прогнозувати її цілісність за незмінних геодинамічних умов у майбутні інтервали часу, що їх за масштабами можна зіставляти з геологічним.

Таким чином, метод додаткової дози може бути використаний при оцінці придатності соленосних відкладів для екологічно безпечного зберігання відходів.

1. Сьомка В. В., Литовченко А. С., Мельников В. С., Шехунова С. Б. Исследование радиационных дефектов в  $\gamma$ -облученном галите методом ЭПР // Минерал. журн. – 2003. – 25, № 2/3. – с. 35–40.
2. Полькова Ю. С., Сьомка В. В., Кузнецова О. Я., Литовченко А. С. Дослідження динаміки накопичення та рекомбінації радіаційних дефектів в структурі галіту методом ЕПР // Вісник НАУ. – 2004. – вип. 1. – с. 172–175.
3. Ikeya M. New Application of Electron Spin Resonance. Dating, Dosimetry and Microscopy. Singapore –New Jersey. London. Hong-Kong, 1993. – 240 p.
4. Senftle F. E. The effect of potassium in prospecting for radioactive ores // Can. Mining Journ. – 1948. – 69, No. 11, – P. 55–57.

**Исследован галит верхнедевонской и нижнепермской соленосных формаций Днепровско-Донецкой впадины методом дополнительной дозы по разработанной авторами методике. Показана возможность ее применения для восстановления этапов преобразования галита.**

**The Dnieper-Donets depression halite has been investigated by the method of additional dose according to the procedure developed by authores. It was shown the possibility of its application for the purpose of restoring the stages of halite transformation.**