

Формування та гідрогеохімічні особливості нижньопермсько-верхньокам'яновугільного нафтогазоносного комплексу центральної частини Дніпровсько-Донецької западини

Гайдучок-Ємець В. В., Ємець О. В.

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, Київ

В роботі досліджені співвідношення між основними елементами (Na, Ca, Mg та Cl) сольового складу хлор-кальцієвих підземних розсолів верхньокам'яновугільно-нижньопермських відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. Виявлені кореляційні зв'язки свідчать про седиментаційне первинноморське походження підземних вод відкладів нижньої пермі. Згідно з результатами проведених досліджень, ці води походять як з нормального, так і засоленого соленакопичувального басейнів. Основними шляхами еволюції досліджених підземних вод було розчинення соляних (галітових) верств та обмінні реакції з змісними породами за схемою $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$, що спричинило збагачення підземних вод кальцієм.

Вступ. Підземні води нафтогазоносних регіонів містять важливу інформацію про генезис і умови формування покладів вуглеводнів. Тому ефективність пошуково-розвідувальних робіт на нафту і газ визначається значною мірою виявленням і раціональним використанням гідрогеохімічних критеріїв. Проблеми гідрогеології і геохімії підземних вод глибинних водоносних горизонтів Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) у зв'язку з нафтогазоносністю розглядалися в багатьох роботах, у тому числі в працях [1, 2, 5, 6].

В процесі пошукових і експлуатаційних робіт на нафту й газ, які проводилися в Дніпровсько-Донецькій нафтогазоносній провінції, відібрано велику кількість проб підземних вод, аналізи яких були предметом обробки та інтерпретації, а також публікацій в галузі пошукової геохімії. Встановлено, що основний об'єм підземних вод нижньої гідрогеологічної зони (з якою пов'язана промислова нафтогазоносність западини) має седиментаційне походження [1]. Також у формуванні підземних вод брали участь інфільтраційні води різної природи.

Геохімічні індикатори, зокрема вміст галогенів в підземних водах, вперше в Україні для пошуку родовищ корисних копалин використав Е. Я. Жовинський, який дослідив та розробив ряд критеріїв, що сприяли відкриттю нових родовищ [3]. Проблема встановлення геохімічних індикаторів родовищ корисних копалин становить неабиякий інтерес для пошукової геохімії і базується на генетичних варіаціях складу підземних вод. У багатьох працях викладені дані з загального хімічного складу і вмісту та співвідношенню мікрокомпонентів, а також зроблені висновки про седимен-

таційне походження підземних вод ДДЗ, які були змінені впродовж довготривалого занурення регіону та процесів взаємодії у системі порода-вода [1, 4, 5]. Авторами праці [2] показана чітка відмінність між співвідношеннями вмісту йоду, бром, бору та амонію в різних вікових комплексах нижнього нафтогазоносного поверху ДДЗ. Водночас ще не досить чітко розроблена генетична класифікація підземних вод ДДЗ, яка могла би дати відомості про знаходження родовищ вуглеводнів і гідрогеохімічну еволюцію нафтогазоматеринських товщ регіону.

Дана робота присвячена дослідженню підземних вод одного з найбільш цікавих нафтогазоносних комплексів ДДЗ – пермсько-верхньокам'яновугільного. Колектори цього віку найбільш чітко виражені в центральній частині западини і є основними за розвіданими запасами вуглеводнів (57,2 %) [4], що здебільшого зумовлено наявністю найбільш крупних нафтових (Лесяківське, Гнідинцівське, Глинсько-Розбишівське) і газових (Шебелинське, Західно-Хрещинське, Єфремівське) родовищ. Окрім того, протягом верхньокам'яновугільного і нижньопермського періодів відбулася поступова зміна теригенного морського осадконакопичення теригенним континентальним та евапоритовим. Тому в цей час проходила істотна зміна складу седиментаційних вод. Захоронені товщі кам'яної солі нижньопермського віку свідчать не тільки про зміну клімато-екологічного стану морського басейну, а є чинником, що суттєво впливає на соленість та особливості еволюції підземних вод, які з ними контактували під час занурення регіону в молодші геологічні періоди.

Методика досліджень. У даній роботі використана методика вивчення відношення мулового натрію і хлору до бромиду [8], досліджено співвідношення натрію, кальцію та хлору відносно відомих реакцій, що виникають в процесі взаємодії у системі порода–вода [10] і задокументовані фізико-хімічні процеси, які вплинули на формування та еволюцію досліджуваних формаційних вод. Для виконання досліджень концентрації іонів були нормалізовані (τ) для уникнення ефекту вуалювання досліджуваних залежностей впливом можливих домішок метеорної води.

Різниця між природними водами евапоритових басейнів і глибинними водами полягає у переважанні аніонів Cl^- , SO_4^{2-} і катіонів Na^+ , K^+ , Mg^{2+} в морських водах, тоді як глибинні води містять високу кількість Ca^{2+} . Іони хлору домінують у формаційних водах і становлять до 95 % маси аніонів. Значення Na^+ зменшуються з ростом мінералізації.

Ільовними процесами, які впливають на склад підземних вод впродовж їх еволюції є: доломітизація, бактеріальна діяльність, обмін іонів типу $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$, розчинення захоронених соляних товщ – головним чином галіту, а також процеси змішування вод різного типу.

Для еволюції седиментаційних вод найголовнішою реакцією при взаємодії у системі порода–вода є реакція обміну іонів $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$. Ця реакція є головною причиною росту вмісту кальцію в глибинних водах [7]. Для дослідження даної обмінної реакції було вивчено поведінку залежності дефіциту Na ($\tau\text{Cl} - \tau\text{Na}$) у порівнянні з кількістю двохвалентних катіонів ($\tau\text{Ca} + \tau\text{Mg}$), а також проаналізоване кількісне співвідношення $\text{Ca} - \text{Na} - \text{Cl}$ відносно існуючого у морських водах евапоритових басейнів. Діагностика еволюції підземних вод за поведінкою цих залежностей була розроблена і підтверджена для різних седиментаційних басейнів у працях [8, 9, 10].

На основі опрацювання кривих випарювання морських вод, представлених у праці [7], можливо визначення полів змішування цих вод. Якщо дефіцит Na є нижчим за існуючий в морській воді і одночасно спостерігається нестача двохвалентних катіонів, це означає, що дані підземні води знаходяться у зоні розчинення соляних порід, головним чином галіту.

Характеристика досліджуваних підземних вод. Для дослідження було використано 65 хімічних аналізів підземних вод з 10 родовищ вуглеводнів нижньопермсько-кам'яновугільних відкладів ДДз (Верхньо-Ланівське, Глинсько-Розбишівське, Гнідинцівське, Кременівське, Машівське, Розпашнівське, Рибальське, Качанівське, Талалаївське, Щурівське). Гранічні дані

хімічного аналізу основних елементів досліджуваних підземних вод наведені в таблиці. Температура підземних вод змінюється в межах 47–55 °С за значення тиску 20–40 МПа.

Таблиця.

Загальна мінералізація та вміст основних компонентів в підземних водах досліджуваних верхньокам'яновугільно-нижньопермських відкладів ДДз, г/л

Значення	Мінералізація	Cl	Na	Ca	Mg	Br
мін	53,04	31,26	16,33	0,14	0,06	0,01
мак	321,45	195,39	121,08	26,73	5,91	0,92

Здебільшого досліджувані води належать до хлоркальцієвого типу, але часто зустрічаються хлорнатрієві води. Чіткої закономірності між глибинністю відбору та сольовим складом проб не спостерігається. Мінералізація розсолів змінюється від 54 до 321 г/л. Висока мінералізація свідчить про низьку проникність розрізу, характеризуючи зону важкого водообміну. Згідно досліджень, які були проведені в праці [2], підземні води нижньопермсько-верхньокам'яновугільного комплексу характеризуються високим вмістом бромиду (в досліджених пробах – від 0,009 до 0,91 г/л, що цілком узгоджується з даними вказаної роботи) та відносно низьким – йоду та бору. Для нижньопермських відкладів ДДз характерні слабкометаморфізовані розсоли (показник метаморфізації $S < 100$) [2].

Залежність $\tau\text{Cl}/\tau\text{Br} - \tau\text{Na}/\tau\text{Br}$. На рис. 1 показана залежність значень відношення $\tau\text{Cl}/\tau\text{Br}$ і $\tau\text{Na}/\tau\text{Br}$ від кривої розчинення галіту в прісній воді. Між цими відношеннями виявляється пряма кореляція, яка відповідає рівнянню $\tau\text{Cl}/\tau\text{Br} = 1,0374(\tau\text{Na}/\tau\text{Br}) + 205,23$; коефіцієнт достовірності кореляції $R^2 = 0,9971$. Стрілками показані протилежні процеси – випарювання і розчинення солі. Хрестиками позначені стадії випарювання морської води з поступовою кристалізацією з розчину CaSO_4 , NaCl , MgSO_4 та KCl .

Згідно рис. 1, досліджені формаційні води характеризуються трендом залежності $\tau\text{Cl}/\tau\text{Br} - \tau\text{Na}/\tau\text{Br}$ паралельно кривої розчинення галіту в прісній воді. Тренд проходить через фігуративну точку „вода морська”. Така поведінка свідчить, що формаційні води нижньої пермі – верхнього карбону походять від захоронених вод морських басейнів. З них постексталаційні води, які складають нижню ліву частину тренду, відповідають підземним водам нижньої пермі і складають меншість. Вони характеризують соленакопичувальні басейни, які знаходилися на стадії відкладання гіпсу та галіту. Домінують води, які формувалися внаслідок розчинення соляної товщі в седиментаційній воді (фігуративні точки правої верхньої час-

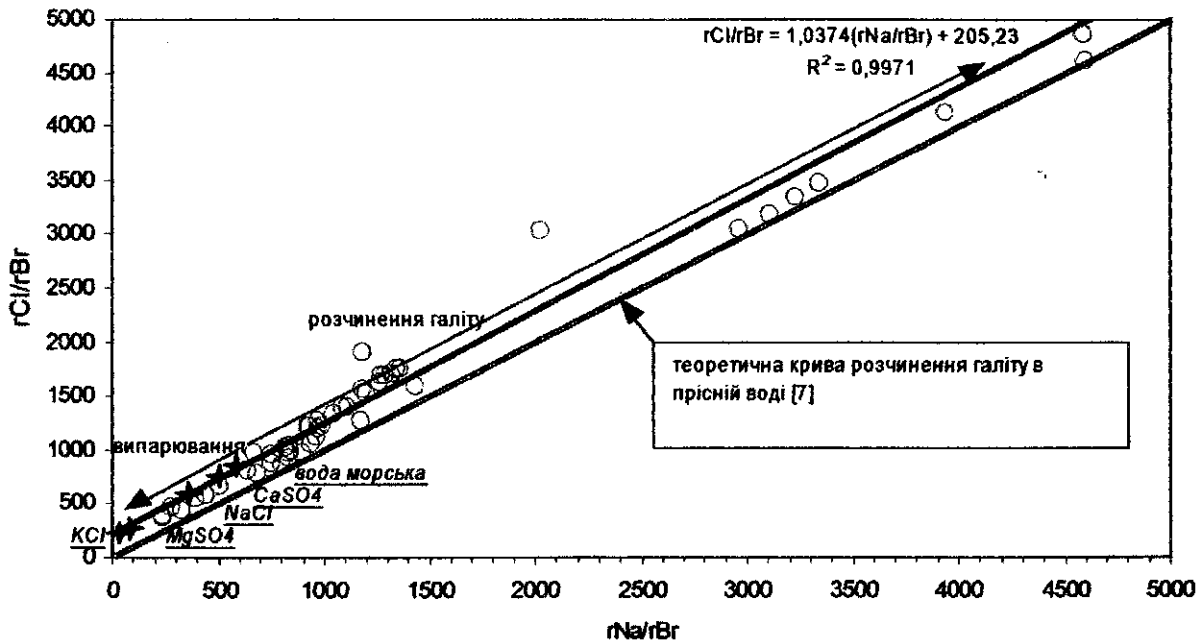


Рис. 1. Залежність між співвідношеннями Na/Br і Cl/Br в підземних водах нижньопермських та верхньокарбонатних відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. Хрестиками позначені фігуративні точки, які відповідають складу морської води та початку кристалізації відповідно позначених солей впродовж випарювання

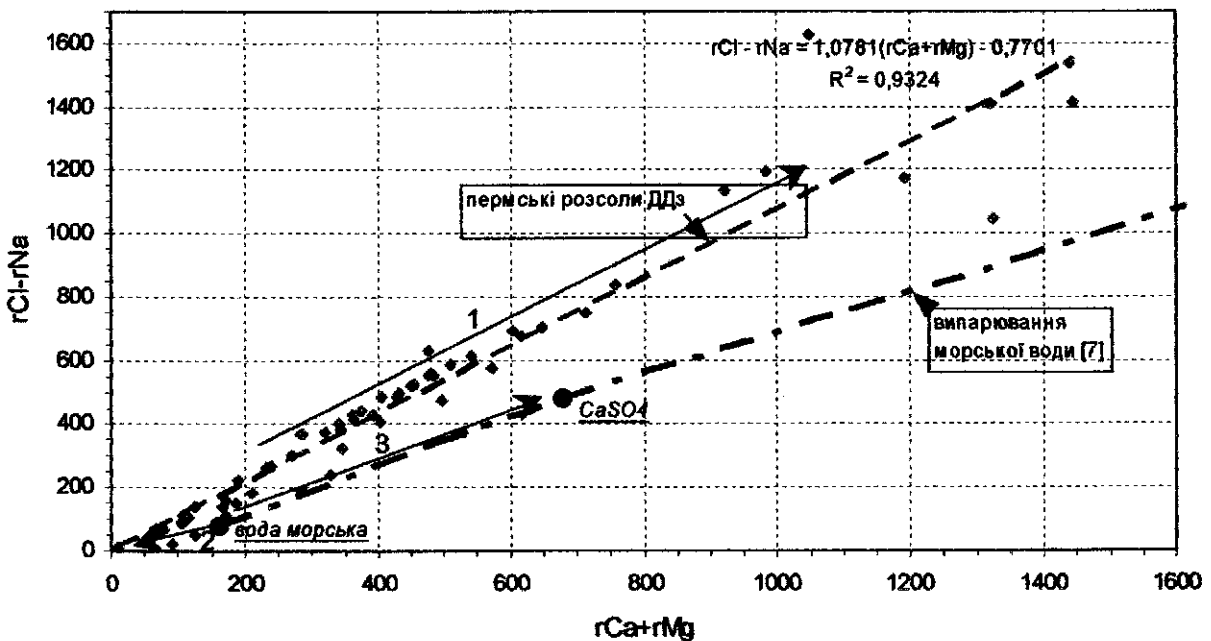


Рис. 2. Залежність між $rCl - rNa$ та $rCa + rMg$ в підземних нижньопермських та верхньокарбонатних відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. Цифрами та стрілками позначені виділені генетичні групи (див. текст)

тини тренду). Через високі значення відношення rCl/rBr і rNa/rBr за межами рис. 1 знаходиться кілька аналізів таких вод. Деякий розкид фігуративних точок, очевидно, є ефектом змішування розсолів, насичених галітом, з менш соленими седиментаційними водами.

Залежність $rCl - rNa$ від $rCa + rMg$. Для морської води дефіцит натрію ($rCl - rNa$) становить 80–56 мг-екв/л тоді як для досліджуваних вод цей показник досягає 1450 мг-екв/л. На рис. 2 представлена залежність між нормалізованими значеннями дефіциту

іонів натрію та кількістю двовалентних катіонів (Ca та Mg). Згідно отриманого тренду залежності більшість проб води (група 1) характеризуються зміною іонного складу у відповідності до реакції $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ і рівняння $r\text{Cl} - r\text{Na} = 1,0781(r\text{Ca} + r\text{Mg}) - 0,7701$; коефіцієнт достовірності кореляції $R^2 = 0,9324$. Чітка вираженість цього тренду є доказом того, що пермські розсоли ДДз мають седиментаційне походження, а їхнє перетворення з хлор-натрієвих у хлор-кальцієві відбувалось внаслідок діагенетичних процесів, які спричиняли перехід кальцію в розчин.

Крім цих вод виділяються ще дві невеликі групи.

Група 2 характеризує невелику кількість проб підземних вод у складі групи 1, з дефіцитом натрію та кількості двовалентних катіонів, меншими за значення, що спостерігаються у морській воді. Для цієї групи, очевидно, крім обмінної реакції $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ в процесі еволюції було важливим постачання іонів Na^+ та Cl^- завдяки розчиненню верств кам'яної солі (галіту).

Група 3 характеризує підземні води, які відповідають тренду випарювання морської води. Зважаючи на малу кількість таких проб, ці води, очевидно, характерні тільки для небагатьох закритих природних

резервуарів, близьких до первинного складу вод нижньопермського евапоритового басейну.

Висновки. На підставі проведених досліджень отримані докази седиментаційного первинноморського походження підземних вод пермсько-верхньокам'яновугільних відкладів центральної частини Дніпровсько-Донецької западини. Виявлені кореляційні залежності дозволяють зробити такі висновки.

1. Всі проаналізовані проби підземних вод, відібрані з родовищ вуглеводнів, характеризують діагенетично змінені захоронені води морського басейну.

2. Серед досліджених підземних вод виділяються води нормального та соленакопичувального морських басейнів, які існували в верхньому карбоні та нижній пермі на території Дніпровсько-Донецької западини.

3. Еволюція нижньопермських морських вод після їх захоронення здійснювалась за двома основними напрямками: а) насичення галітом внаслідок розчинення підземними водами соляних товщ; б) діагенетичний обмін іонів $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$, з еволюцією вод від хлорнатрієвих до хлоркальцієвих.

1. Варава К. Н., Вовк И. Ф., Негода Г. Н. Формирование подземных вод Днепровско-Донецкого бассейна. – К.: Наукова думка, 1977. – 180 с.

2. Гайдучок-Ємець В. В., Ємець О. В., Кураєва І. В., Іванів О. О. Бром, йод, бор та амоній в підземних водах палеозойських відкладів Дніпровсько-Донецької западини // Поисковая и экологическая геохимия – 2002 – № 2/3. – С. 34–38.

3. Жовинский Э. Я. Фторометрические методы поисков. – К.: Наукова думка, 1985. – 161 с.

4. Кабишев Б. П., Шпак П. Ф., Билык О. Д. и др. Геология и нефтегазоносность Днепровско-Донецкой впадины. Нефтегазоносность. – АН УССР. Ин-т геол. наук. – К.: Наукова думка, 1989. – 200 с.

5. Суярко В. Г. Эволюция подземной гидросферы Донбасса. Препр. – К., 1997. – 70 с.

6. Швай Л. П. Подземные воды ДДв в связи с нефтегазоносностью. – М.: Недра, 1973. – 102 с.

7. Carpenter A. B. Origin and chemical evolution of brines in sedimentary basins // Oklahoma Geol. Surv. Circ. – 1978. – No 79. – P. 60–77.

8. Collins A. G. Geochemistry of oil-field waters // Devel. In Petroleum Sc. – No 1. – Elsevier Sc. Publ. Comp., 1975.

9. Davisson M. L., Presser T. S., Criss R. E.: Geochemistry of tectonically exsolved fluids from the northern Coast Ranges, Hills, California, USA // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1994. – No 58. – P. 1687–1699.

10. Davisson M. L., Criss R. E. Na–Ca–Cl relations in basinal fluids // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1996. – No 15. – P. 2743–2752.

В работе исследованы соотношения между основными элементами (Na, Ca, Mg и Cl) солевого состава хлоркальциевых подземных рассолов верхнекаменноугольно-нижнепермских отложений центральной части Днепровско-Донецкой впадины. Выявленные корреляционные связи свидетельствуют о седиментационном происхождении подземных вод отложений нижней перми, которые были первичноморскими. Соответственно результатам выполненных исследований, эти воды характеризуют как нормальный, так и солеродный морской бассейны. Основными путями эволюции подземных вод было растворение соляных (галитовых) слоев и обменные реакции с вмещающими породами по схеме $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$, что вело к обогащению состава подземных вод кальцием.

The paper provides investigations of interrelations between the basic elements (Na, Ca, Mg and Cl) of the underground brines of the Upper Carboniferous – Early Permian beds of the central part of the Dnipper-Donetsk depression. The established correlations testify to the marine sedimentary origin of the investigated brines. These waters characterise both normal and evaporite basins. Dissolutions of the rock salts and exchange reaction $2\text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Ca}^{2+}$ were the principal ways, changing the compositions of these waters.