

## ГІДРОГЕОХІМІЧНІ КРИТЕРІЇ МІГРАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО АРТЕЗІАНСЬКОГО БАСЕЙНУ

*М.В. Кухар, Н.О. Крюченко*

*Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України  
03680, просп. акад. Палладіна, 34, Київ, Україна*

Висвітлено результати геохімічних досліджень підземних вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну у четвертинних, палеогенових та кам'яновугільних відкладах. Визначено зміну складу підземних вод та коефіцієнт їх метаморфізації ( $K_m = r_{Na}/r_{Cl}$ ). Встановлено залежність між мінералізацією та значенням  $K_m$ : найнижчі значення  $K_m$  (від 0,5 до 0,8) відповідають максимальній мінералізації (180–300 г/дм<sup>3</sup>, для води кам'яновугільних відкладів), а високі значення  $K_m$  (від 1,2 до 10) – мінімальній (0,3–1,4 г/дм<sup>3</sup>, для води четвертинних відкладів).  $K_m$  – це гідрогеохімічний критерій міграції підземних вод, який вказує на наявність поступової зміни сольового складу води і переходу в інший тип.

*Ключові слова:* коефіцієнт метаморфізації, підземні води, мінералізація.

**Вступ.** В результаті досліджень відомих гідрогеологів – М.К. Ігнатовича, В.О. Суліна, К.І. Макова, Н.І. Толстїхіна, І.К. Зайцева, А.Є. Бабинця, В.М. Шестопалова та інших для більшої частини артезіанських і субартезіанських басейнів, в тому числі Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (ДДАБ), нині чітко визначені різні за показником взаємодії підземних вод з поверхнею землі три гідрогеодинамічні зони, а саме: вільного, утрудненого та дуже утрудненого водообміну [2–4]. Кожній зоні притаманні певний хімічний склад вод і мінералізація.

Про вертикальне розвантаження в процесі міграції підземних вод свідчить, перш за все, поява гідрогеохімічної зональності, зростання або зменшення мінералізації вод і коефіцієнт метаморфізації ( $K_m$ )  $r_{Na}/r_{Cl}$  (за В. Суліним) [3]. Результатом процесу є перехід води в інший тип, не властивий даному водоносному комплексу. Цей показник може слугувати геохімічним критерієм міграції підземних вод.

На території ДДАБ у вертикальному розрізі існує чітка гідрогеохімічна зональність вод, тому встановлення гідрогеохімічних критеріїв міграції – основа для виділення вод, різних за походженням.

**Характеристика району дослідження.** Були досліджені підземні води четвертинних, бучацько-канівських (палеоген) і кам'яновугільних відкладів центральної частини ДДАБ (біля 200 проб з кожного водоносного горизонту).

Загальна потужність четвертинного водоносного горизонту змінюється у межах 20–140 м, абсолютні відмітки покрівлі збільшуються в північному напрямку і досягають 50–150 м, глибина залягання покрівлі змінюється від 20 до 110 м [4].

Глибина залягання покрівлі бучацько-канівського горизонту – від 80 до 200 м. Потужність водомістких пісків складає 10–75 м. Горизонт напірний, величина натиску у більшості випадків коливається у межах 60–150 м, на ділянках розвантаження напір горизонту зменшується. Головне живлення водоносного горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів у північній частині ДДАБ, зокрема в долині р. Сейм, додаткове – у долинах річок Псел, Ворскла, та на ділянках, де канівсько-бучацькі відклади виходять безпосередньо під четвертинний або неогеновий алювій. Від поверхневого забруднення водоносний горизонт надійно захищений товщею кийвських мергелів потужністю 30–50 м [2].

Води четвертинного і бучацько-канівського водоносного горизонту прісні (мінералізація 0,3–1 г/дм<sup>3</sup>, рідше до 3 г/дм<sup>3</sup>), гідрокарбонатно-кальцієвого, гідрокарбонатно-натрієво-кальцієвого складу, проте на ділянках розповсюдження гіпсів і кам'яної солі склад води міняється на хлоридно-натрієвий і сульфатно-хлоридний, причому мінералізація може збільшуватись до 5 г/дм<sup>3</sup> [2, 4].

У кам'яновугільних відкладах (нафтогазоносні площі) поширені води хлоридно-натрієвого та хлоридно-кальцієвого складу з мінералізацією 25–300 г/дм<sup>3</sup> [4].

**Результати та обговорення.** Важливою характеристикою походження води є її метаморфізація. Взаємодія води з водовмісними породами спричиняє направлену зміну її хімічного складу.

Склад морської води характеризується великим вмістом солей. Якщо у водах материкового стоку частіше за все спостерігаємо такі ряди концентрацій:  $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$  і  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$  або  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , то для солоних і морських вод (починаючи із загальної мінералізації 1 г/дм<sup>3</sup>), співвідношення змінюються:  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$  і  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$  [1]. Зміна співвідношень між іонами від прісних до морських вод пояснюється послідовним досягненням межі розчинності слабозчинних солей поступово відповідно до підвищення мінералізації води.

Оскільки всі підземні води можна розділити на три основні хімічні типи: карбонатний, сульфатний і хлоридний, то процес метаморфізації якогось з цих типів вод приводить до поступової зміни сольового складу води і переходу в інший тип. Якщо склад води змі-

нюється від карбонатного типу до сульфатного, а потім до хлоридного, тобто це метаморфізація I роду, або нормальна, властива підземним водам, без інверсійних процесів [4].

Для визначення ступеня метаморфізації підземних вод центральної частини ДДАБ було використано показник Км. Як відомо, для вод моря це співвідношення дорівнює 0,87, чим це значення менше, тим вода більше метаморфізована.

Було розраховано Км для досліджуваних підземних вод – четвертинного (гідрокарбонатно-кальцієві води), бучацько-канівського (гідрокарбонатно-натрієво-кальцієві та хлоридно-натрієві води) та кам'яновугільних відкладів (хлоридно-натрієві та хлоридно-кальцієві води) (таблиця).

Як показано в таблиці, води четвертинного водоносного горизонту характеризуються мінімальним вмістом хлору (4,0–53,6 мг/дм<sup>3</sup>) і натрію (20,7–142,2 мг/дм<sup>3</sup>). Км тут найбільший – 2,7–9,45, що відповідає зоні вільного водообміну. Це означає, що живлення цього горизонту відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, які є найменш мінералізованими. Серед аніонів переважає  $\text{HCO}_3^-$ , а серед катіонів –  $\text{Ca}^{2+}$ . Причиною підвищення вмісту  $\text{Ca}^{2+}$  є збагачення атмосфери аерозолями континентального походження. Горизонт не захищений від забруднення.

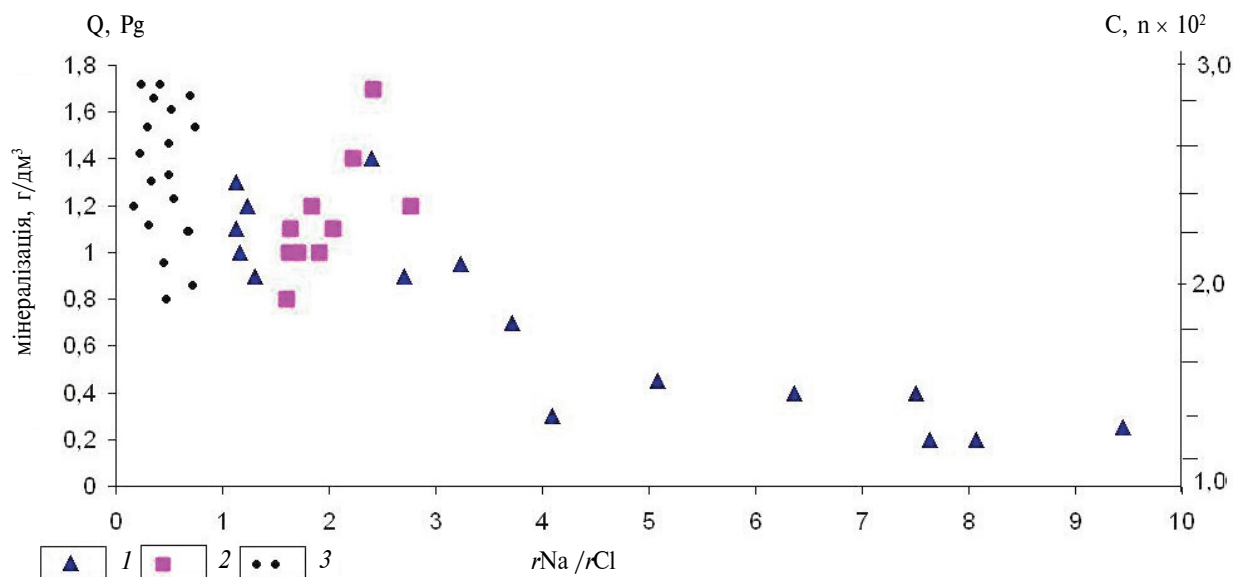
Хімічний склад води бучацько-канівського горизонту закономірно змінюється з півночі на південь з гідрокарбонатно-натрієво-кальцієвого на гідрокарбонатно-хлоридно-натрієвий, в цьому ж напрямку підвищується і мінералізація води. На окремих ділянках мінералізація сягає 1,9 г/дм<sup>3</sup>, тут тип води змінюється на хлоридно-натрієвий.

Цей водоносний горизонт належить до зони вільного водообміну, живлення відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів внаслідок виходу відкладів безпосередньо під четвертинний алювій (північна частина території). Км тут становить 1,64–2,77 ( $\text{HCO}_3^-$ - $\text{Na}$ - $\text{Ca}$  води), мінералізація 0,5–1 г/дм<sup>3</sup>. За умови підживлення із водоносного комплексу, що залягає нижче, у нижньокрейдових-сеноманських відкладах (південно-східна частина території) Км становить 1,13–2,41 ( $\text{Cl}$ - $\text{Na}$  води) з мінералізацією 0,8–1,9 г/дм<sup>3</sup>.

Водам кам'яновугільних відкладів властива висока мінералізація, яка становить 167–

#### Коефіцієнт метаморфізації вод різних водоносних горизонтів

Вміст, мг/дм <sup>3</sup>					
Na	Cl	rNa/rCl	Na	Cl	rNa/rCl
<i>Водоносний горизонт четвертинних відкладів HCO<sub>3</sub>-Ca води</i>					
142,20	53,60	4,09	23,23	11,07	3,24
120,85	24,87	7,50	28,52	11,82	3,72
91,00	17,41	8,07	20,70	11,82	2,70
96,60	23,40	6,37	32,89	6,64	7,64
40,25	12,22	5,08	27,14	4,43	9,45
<i>Бучацько-канівський водоносний горизонт HCO<sub>3</sub>-Na-Ca води</i>					
485,96	463,98	1,62	516,60	485,04	1,64
533,50	485,00	1,70	294,10	204,50	2,22
547,70	305,50	2,77	357,00	272,00	2,03
541,50	521,12	1,60	332,00	269,00	1,90
530,25	445,30	1,84	239,20	152,87	2,41
<i>Cl-Na води</i>					
990,27	1314,53	1,16	652,00	810,00	1,24
1081,00	1479,00	1,13	1081,00	1479,00	1,13
687,00	816,00	1,30	239,80	153,00	2,40
<i>Кам'яновугільний водоносний горизонт Cl-Ca-Na води</i>					
86069,00	163749,22	0,81	80241,00	153391,77	0,82
80207,00	153326,90	0,81	86671,00	158868,83	0,81
14448,00	25718,38	0,81	82884,00	160716,14	0,84
69223,00	142516,82	0,87	83455,00	153852,29	0,80
84965,00	165529,01	0,75	85648,00	163495,42	0,84
79316,00	152944,88	0,79	75375,00	155124,37	0,81
79493,00	153701,84	0,80	67895,00	130836,38	0,75
80293,00	151831,38	0,80	26508,00	52398,35	0,80



Точкова діаграма залежності коефіцієнта  $rNa/rCl$  (Км) від мінералізації вод: 1 – четвертинних, 2 – бучацько-канівських (палеогенових), 3 – кам'яновугільних відкладів

215 г/дм<sup>3</sup>, води належать до хлоркальцієвого типу. Основні складові – хлор (108–123 г/дм<sup>3</sup>) та натрій (50–71 г/дм<sup>3</sup>), вода також містить значну кількість кальцію (9–14 г/дм<sup>3</sup>). Іон хлору найбільш часто міститься в підземних водах у вигляді сполук з іоном Na<sup>+</sup> та накопичується в результаті розчинення хлоридів з гірських порід. Характерним компонентом вод є бром (187–314 мг/дм<sup>3</sup>), у помітних кількостях присутні також бор та йод, 2,16–6,49 та 2,0–4,23 мг/дм<sup>3</sup> відповідно.

Одним зі сприятливих показників наявності нафти та газу визнано наявність солоних вод переважно хлор-кальцієвого типу, що свідчить про гідродинамічну закритість надр. На території поширення нафтогазоносних покладів (наприклад, Хухринська-6, інтервал опробування 3400–3450 м) можна помітити, що зі збільшенням поглиблення поверхні фундаменту мінералізація вод змінюється від 134,5 до 229,5 г/дм<sup>3</sup>, для таких вод характерні низькі показники Км (0,58–0,68), які характеризують утруднену і дуже утруднену зону водообміну.

В результаті аналізу підземних вод центральної частини ДДАБ встановлено залежність Км від мінералізації (рисунок), води четвертинних відкладів мають великий діапазон

коливання значень Км (від 1,2 до 10) та мінералізацію 0,3–1,4 г/дм<sup>3</sup>, води бучацько-канівських відкладів – невеликий діапазон коливання значень Км (від 1,8 до 2,8) та мінералізацію 0,8–1,6 г/дм<sup>3</sup>, води карбонівських відкладів – дуже вузький діапазон коливання значень Км (від 0,5 до 0,8) за дуже високого значення мінералізації – 180–300 г/дм<sup>3</sup>.

**Висновки.** У результаті геохімічних досліджень підземних вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну у четвертинних, палеогенових та кам'яновугільних відкладах встановлено зміну складу підземних вод та коефіцієнт їх метаморфізації (Км –  $rNa/rCl$ ).

Встановлено залежність між мінералізацією підземних вод та їх Км: найнижчі значення Км (від 0,5 до 0,8) відповідають максимальній мінералізації (180–300 г/дм<sup>3</sup>) для вод кам'яновугільних відкладів, а високі значення Км (від 1,2 до 10) відповідають мінімальній мінералізації (від 0,3 до 1,4 г/дм<sup>3</sup>) для вод четвертинних відкладів.

Км – гідрогеохімічний критерій міграції підземних вод, що вказує на наявність поступової зміни сольового складу води і переходу в інший тип.

Надійшла 09.09.2013

## Література

1. *Иванов В.В.* Экологическая геохимия элементов : Справочник : В 6 кн. / В.В. Иванов; под ред. Э.К. Буренкова. – М. : Экология, 1997.
2. *Колесник Е.О., Бабова К.Д.* Мінеральні води України. – К. : Купріянова, 2005. – 560 с.
3. *Крайнов С.Р.* Геохимия подземных вод хозяйственно-питьевого назначения / С.Р. Крайнов, В.М. Швец. – М. : Недра, 1987. – 237 с.
4. *Суярко В.Г.* Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. – Харьков : Изд-во Харьков. нац ун-та, 2004. – 206 с.

**Кухар М.В., Крюченко Н.О.** Гидрогеохимические критерии миграции подземных вод Днепровско-Донецкого артезианского бассейна. Представлены результаты геохимических исследований подземных вод Днепровско-Донецкого артезианского бассейна в четвертичных, палеогеновых и каменноугольных отложениях. Определено изменение состава подземных вод, и соответственно коэффициент их метаморфизации ( $K_m - rNa/rCl$ ), по которым установлена зависимость между минерализацией вод и значением  $K_m$ : низкие значения  $K_m$  (от 0,5 до 0,8) соответствуют максимальной минерализации (180–300 г/дм<sup>3</sup>, для воды каменноугольных отложений), а высокие значения  $K_m$  (от 1,2 до 10 – минимальной (0,3–1,4 г/дм<sup>3</sup>, для воды четвертичных отложений).  $K_m$  – это геохимический критерий миграции подземных вод, он указывает на наличие постепенного изменения солевого состава воды и перехода в другой тип.

*Ключевые слова:* коэффициент метаморфизации, подземные воды, минерализация.

**Kukhar M.V., Kryuchenko N.O.** The hydrogeochemistry criteria of migration of underground waters of Dnepr-Donetsk artesian basin. The results of geochemical researches of underground waters of the Dnepr-Donetsk artesian basin are reflected in the Quaternary, Paleogene and Carboniferous sediments. The change in composition of the underground waters, and therefore their rate of metamorphism ( $K_m - rNa/rCl$ ), for which a correlation between the salinity of water and the value of  $K_m$ : low  $K_m$  values (0.5 to 0.8) correspond to the maximum salinity (180–300 g/dm<sup>3</sup>) for the treatment of underground waters Carboniferous sediments, and high values of  $K_m$  (1.2 to 10) correspond to the minimal mineralization (0.3–1.4 g/dm<sup>3</sup>) for the treatment of Quaternary sediments.  $K_m$  is geochemical criteria for groundwater migration and indicates a gradual change in the composition of the salt water and the transition to a different type.

*Keywords:* coefficient metamorphism, underground water, salinity.