

## ГАЛОГЕННА СКЛАДОВА В ГІДРОГЕОХІМІЧНІЙ ЗОНАЛЬНОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО АРТЕЗІАНСЬКОГО БАСЕЙНУ

*В.В. Кухар<sup>1</sup>, М.В. Кухар<sup>2</sup>*

*1 – Державна комісія України по запасам корисних копалин  
01133, вул. Кутузова 18/7, оф. 816, Київ, Україна*

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

Висвітлено результати гідрогеохімічних досліджень вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (ДДАБ). Розглянуто особливості розподілу галогенів (Cl, J, Br) у водах різних гідрогеодинамічних зон. Простежується певна закономірність – вміст галогенів збільшується зі зміною характеру водообміну – у зоні вільного водообміну їх вміст мінімальний, у зоні дуже утрудненого – максимальний.

**Вступ.** В.І. Вернадський пояснював вертикальну гідрогеохімічну зональність процесами підземного випаровування, що пізніше не підтвердилося. Після нього вертикальну гідрогеохімічну зональність вивчали В.А. Жуков, В.О. Сулін, Н.К. Ігнатович, Н.И. Толстіхін, Г.Н. Каменський, Ф.А. Макаренко, С.А. Шагоянц, Т.П. Афанасьєв, А.М. Овчинніков, М.Е. Альтовський, І.К. Зайцев, К.В. Філатов, А.В. Щербачов та багато інших вчених.

У природі, як правило, не спостерігаються чіткі та різкі границі між різними гідрогеохімічними зонами. Хімічний склад підземних вод, особливо в об'ємі пласта, змінюється поступово. Тому прийнято виділяти гідрогеохімічні зони за певними критеріями, які в кожному конкретному випадку можуть бути різними. Нами виділені зони за іонно-сольовим складом.

Реагуючи з більшістю хімічних елементів, галогени беруть участь у великій кількості реакцій у ході геологічних процесів.

Сьогодні, зокрема через ускладнення екологічної ситуації в Україні, особливого значення набувають параметри підземних вод.

Вивчення геохімічних, гідрогеологічних та інших характеристик підземних вод України (зокрема ДДАБ) край необхідні.

**Методологія досліджень.** Для встановлення галогенної складової у гідрогеохімічній зональності підземних вод ДДАБ було проаналізовано понад 100 свердловин, проведено математико-статистичну обробку результатів аналізів, розраховано коефіцієнти метаморфізації вод. Статистичні параметри визначені за допомогою програмного пакета STATISTIKA-6, що дає можливість виявити інтенсивність зв'язків між хімічними елементами.

Відповідно до сучасного гідрогеологічного районування території України, ДДАБ належить до гідрогеологічних об'єктів першого порядку – він охоплює всі водоносні підрозділи від поверхні землі до кристалічного фундаменту (рис. 1).

Нині достеменно визначено, що гідрогеологічні умови будь-яких геологічних тіл мають три головні складові: гідрогеодинамічну, гідрогеохімічну та гідрогеотермальну.

Гідрогеодинамічна складова висвітлює взаємозв'язок гідрогеологічних підрозділів з поверхнею землі, області живлення, транзиту (руху) й розвантаження підземних вод, гідро-

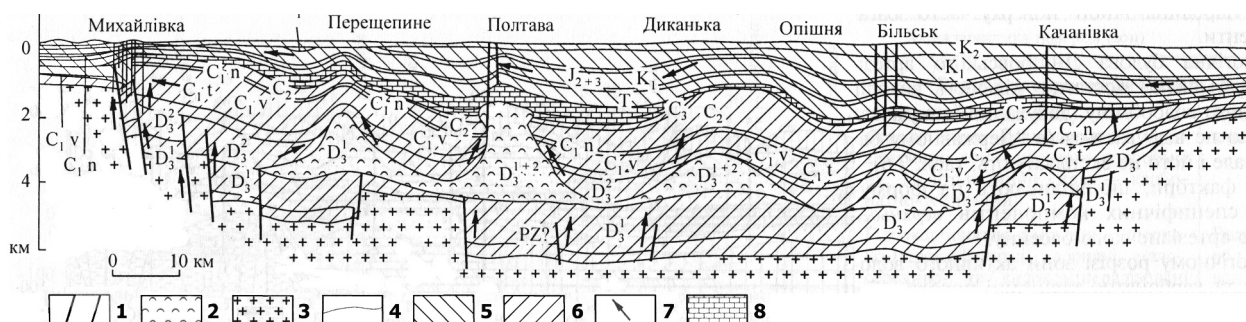


Рис. 1. Гідрогеологічний розріз Дніпровського-Донецького артезіанського басейну по лінії сіл Михайлівка – Качанівка [5]: 1 – розломи; 2 – солоносна формація верхнього девону; 3 – докембрійський кристалічний фундамент; 4 – межі поширення стратиграфічних комплексів; гідродинамічний поверх переважного руху підземних вод у водоносних горизонтах: 5 – латерального, 6 – вертикального; 7 – напрямку руху підземних вод; 8 – пермський водотрив

геологічні підрозділи, що розвинуті в геологічній структурі, водоносні та водотривкі, і, нарешті, кількісні характеристики водоносних підрозділів.

Відомими гідрогеологами (М.К. Ігнатович, В.О. Сулін, К.І. Маков, Н.І. Толстіхін, І.К. Зайцев, А.Є. Бабинець, В.М. Шестопалов та ін.) за показником взаємодії підземних вод з поверхнею землі чітко визначені три гідрогеодинамічні зони для більшої частини артезіанських і субартезіанських басейнів підземних вод. Це зони вільного (активного, інтенсивного) водообміну; утрудненого (уповільненого) водообміну; зону дуже утрудненого (уповільненого) водообміну.

Водночас, за ступенем рухомості підземних вод можна виділити чотири зони.

Перша зона, що має високий режим рухомості, збігається із зоною вільного водообміну, де підземні води рухаються повністю під дією гравітації.

Друга, кореспондована із зоною утрудненого водообміну, має середній режим рухомості та є зоною зосередження дії гравітаційних і гідростатичних сил. У цій зоні ще зберігаються деякі області зв'язку з поверхнею землі, особливо в районах експлуатації глибоких водоносних горизонтів (глибина 600–800 м) і частково родовищ вуглеводнів.

Третя зона, яка відповідає зоні дуже утрудненого водообміну, має низький рівень рухомості – рух підземних вод повністю залежить від гідростатичного тиску та ендегенних процесів.

Подеколи на великій глибині є ще одна зона – застійна, або стагнаційна, де ступінь рухомості мінімальний або руху підземних вод

практично немає. Це така зона породного масиву, де підземна вода перебуває в особливому структурному стані, подібному до структури будь-якого мінералу, що утворює породний масив на такому рівні.

Підземні води, характерні для зони дуже утрудненого водообміну, наявні у відкладах кам'яновугільної та пермської систем. За хімічним складом вони відносяться до розсолів і сприятливі для існування і зберігання скупчень вуглеводнів.

Підземні води верхнього гідрогеохімічного поверху (четвертинний, неоген-палеогеновий, крейдовий, юрський, тріасовий водоносні комплекси) – мінералізовані та прісні. Перші – у нижній, що властиво зоні утрудненого водообміну.

За величиною мінералізації (мг/дм<sup>3</sup>) природні води традиційно розділяють на три основні групи: прісні – до 1, солоні – від 1 до 35 (за В.І. Вернадським – до 50) та розсоли – понад 35. Солоні води сгруповано так: солонуваті (1–3), слабо солоні (3–10) і сильно солоні (10–35), а розсоли: дуже слабкі – 35–70, слабкі – 70–140, дуже міцні – 270–350, надміцні – понад 350 [3].

ДДАБ характеризується наявністю трьох гідрогеодинамічних зон (табл. 1) – вільного водообміну, утрудненого водообміну, дуже утрудненого водообміну. Кожній зоні притаманні певний хімічний склад вод та мінералізація.

Для встановлення ступеня метаморфізації вод різних гідрогеодинамічних зон були розраховані коефіцієнти метаморфізації (Км) –  $rNa/rCl$  (за В.О. Суліним). У зоні вільного водообміну  $K_m > 1$ , що характеризує прісні

води; у зоні утрудненого водообміну Км складає від 0,67 до 0,88; тобто ці води практично не зазнали метаморфізаційних процесів; у зоні дуже утрудненого водообміну Км становить 0,22–0,83, тобто це метаморфізовані води.

Аналізування даних щодо ступеня метаморфізації та мінералізації вод дало змогу встановити таку тенденцію: збільшення мінералізації підземних вод супроводжується зменшенням значень коефіцієнта метаморфізації.

У ДДАБ існує гідрогеохімічна зональність, що полягає в послідовній заміні згори донизу прісних і солонуватих хлоридно-сульфатних і хлоридно-гідрокарбонатних натрієвих вод слабкосолоними або солоними хлоридними натрієвими та натрієво-кальцієвими водами і розсолами.[7]

На північному заході басейну, де водоносні комплекси і горизонти залягають неглибоко, солонуваті та солоні хлоридно-гідрокарбонатні і хлоридно-сульфатні натрієві води вміщуються у відкладах майже всього осадового чохла, аж до девонських.

У мезозойських відкладах, перекритих тріасовим глинистим водотривом, і в палеозойських товщах формувалися хлоридні натрієві води, які під нижньопермським водотривом змінюються хлоридними натрієво-кальцієвими розсолами. У південно-східних районах зона розповсюдження хлоридно-сульфатних і хлоридно-гідрокарбонатних натрієвих вод обмежується знизу тріасовим глинистим водотривом, нижче якого залягають тільки хлоридні кальцієво-натрієві води. Останні з глибиною стають розсолами, характерними для водоносних горизонтів міжсольового літологічного комплексу.

Зона прісних, солонуватих і солоних хлоридно-гідрокарбонатних і хлоридно-сульфатних натрієвих вод, які вміщують азотно-вуглеводневі гази, співпадає з зоною розвитку гідродинамічного режиму інфільтраційного типу.

Перехідна зона характеризується солоними водами тих самих типів, хлоридними кальцієво-натрієвими розсолами різної мінералізації, часто з вуглеводневими газами (азотними та, рідше, азотно-вуглеводневими).

Таблиця 1. Розподіл гідрогеодинамічних зон у ДДАБ ([5], з уточненнями)

Стратиграфічна шкала			Гідрогеодинамічна зона	Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	Хімічний тип води	Коефіцієнт rNa/rCl	Вміст галогенів										
Ератема	Система	Відділ					Cl, г/дм <sup>3</sup>	J, мг/дм <sup>3</sup>	Bг, мг/дм <sup>3</sup>								
Кайнозойська	Четвертинна	Голоцен	Вільного водообміну	1,0–3,0	HCO <sub>3</sub> -Ca-Na, Na-Ca, SO <sub>4</sub> -HCO <sub>3</sub> -Na-Ca, Cl-HCO <sub>3</sub> -Ca-Na	>1,0	0,008–0,257	н. в.	н. в.								
		Плейстоцен															
	Неогенова	Пліоцен															
		Міоцен															
	Палеогенова	Олігоцен															
		Еоцен															
Мезозойська	Крейдова	Верхній	Утрудненого водообміну	43,2–121,2	Cl-Na	0,67–0,88	4,68–68,44	0,–20,3	31,97–148,9								
		Нижній															
	Юрська	Верхній															
		Середній															
	Тріасова	Нижній															
		Верхній															
		Середній															
	Палеозойська	Пермська								Верхній	Дуже утрудненого водообміну	193,6–287,8	Cl-Na	0,68–0,79	34,02–101,54	0–21,3	72,53–552,1
										Нижній							
Кам'яновугільна		Верхній	146,6–287,4														
		Середній	68,0–271,0														
		Нижній	63,3–236,0														
Девонська		Верхній	230,3–258,3	Cl-Na	0,22–0,62	95,27–184,21	3,3–145,5	75,8–362,5									
		Середній															
	Нижній																

Примітка: н. в. – не визначено.

Із зоною розвитку гідродинамічного режиму елізійного типу асоціюють слабкі та міцні метаморфізовані або сильнометаморфізовані хлоридні кальцієво-натрієві розчини, насичені азотно-вуглеводневими, частіше – вуглеводневими, газами. З зоною розвитку гідродинамічного режиму пов'язані термогідродинамічні розсоли, збагачені, вуглекиснево-вуглеводневими і, навіть, вуглеводнево-вуглекислими газами. Для останньої зони характерні процеси формування підземних вод, пов'язані з перетворенням порід під впливом високої температури, що спричинила опріснення похованих розчинів кристалізаційними водами, звільненими у ході дегідратації порід.

За широкого розвитку розривної та соляної тектоніки зональність, описана вище, доволі часто порушується локальними аномаліями. Гідрогеохімічні аномалії, обумовлені соляною тектонікою, проявлені у локальному формуванні розчинів вилуговування. Частка таких розсолів серед підземних вод визначена ступенем активності росту соляного діапіру і характером розвитку соляних піднять.

До зони вільного водообміну належать переважно води гідрокарбонатного складу з мінералізацією 1–3 г/дм<sup>3</sup>. Це переважно прісні води, які використовують для водопостачання населенню.

Зона утрудненого та дуже утрудненого водообміну характеризується переважанням

хлор-натрієвого типу вод та мінералізацією від 43,2 (середньоюрський вік), до 258,3 г/дм<sup>3</sup> (нижньо- девонський).

Вмісту галогенів (Cl, J, Br) тут закономірний та збільшується відповідно до змін характеру водообміну.

Вміст хлору у зоні вільного водообміну коливається від 0,008 до 0,257 за середнього 0,1 г/дм<sup>3</sup>; у зоні утрудненого водообміну його вміст сягає 68,4 (при середньому 32 г/дм<sup>3</sup>); у зоні дуже утрудненого – до 184,2 г/дм<sup>3</sup>.

Йод у зоні вільного водообміну практично відсутній (0,02 мг/дм<sup>3</sup>); у зоні утрудненого водообміну його вміст збільшується у 10 разів – до 20,3 мг/дм<sup>3</sup>; у зоні дуже утрудненого водообміну становить 145,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Вміст броду у зоні вільного водообміну не визначали; у зоні утрудненого водообміну його вміст складає 31,97–148,9 мг/дм<sup>3</sup> (за середнього 80 мг/дм<sup>3</sup>); у зоні дуже утрудненого водообміну – до 552,1 мг/дм<sup>3</sup>.

Як відомо [3, 6], вплив галогенних формацій на формування розсолів може бути пов'язаний з різними процесами: з розчиненням мінералів інфільтраційними водами або седиментацією, з якою пов'язано формування галогенних формацій. Відповідно, на сьогодні визначають два основних генетичних типи розсолів – інфільтрогенні та седиментаційно-генні. Перші утворились внаслідок інфільтрації атмосферних вод, другі – внаслідок седи-

Таблиця 2. Властивості та критерії відмінності інфільтрогенних і седиментогенних хлоридних розсолів [4]

Властивості та критерії відмінності	Інфільтрогенні розсоли	Седиментогенні розсоли
Мінералізація, г/дм <sup>3</sup>	< 320 (< 418 г/кг)	< 750 (> 418 г/кг)
Склад	Cl–Na, Cl–SO <sub>4</sub> –Na, SO <sub>4</sub> –Cl–Na	Cl–Mg, Cl–Mg–Na, Cl–Na–Mg, Cl–Ca–Mg, Cl–Ca–Na, Cl–Na–Ca, Cl–Ca
Джерело розчинника H <sub>2</sub> O	Атмосферні опади і поверхневі води континентів	Морська вода
Джерело сольової маси	Породи й мінерали галогенних формацій	Морська вода; породи й мінерали галогенних формацій
Основні процеси формування	Розчинення	Випаровувальне конденсування морської води; взаємодія з породами та мінералами
Вік відносно вмісних порід	Розсоли молодші за вмісні породи	У своїй первинній генетичній основі розсоли одновікові з вмісними породами, але під час постгенетичних перемішень можуть бути різні співвідношення
Характерні співвідношення між компонентами:		
Cl/Br	> 300	< 300
Br/Cl–10 <sup>3</sup>	< 3,4	> 3,4
rNa/rCl	> 0,85	0,85
δD, ‰	< –50	> –40

Примітка: δD – характеристика ізотопного складу дейтерію – величина ущільнення[2].



ментації гірських порід. Основні властивості й критерії відмінності інфільтрогенних і седиментогенних хлоридних розсолів наведено в табл. 2.

Розгляд розподілу мінералізації підземних пластових вод і коефіцієнта метаморфізації за запропонованими критеріями показує, що всі проаналізовані підземні води, належать до інфільтрогенних. Це означає, що Дніпровсько-Донецький рифтоген був у постійному русі, реагував на всі прояви структурно-тектонічних перетворень та ніколи не був закритий для інфільтрації атмогенних і морських поверхневих вод.

Внаслідок такого прояву тектонічних сил у надрах виникли умови, за яких частина вод могла бути локально захована і дегідратована. Про це свідчить розподіл значень коефіцієнта метаморфізації.

Підземні води міжсольового літологічного комплексу в приштокових зонах девонських соляних криптодіапірів переважно представлені розчинами вилуговування, що перетворилися в умовах гідрогеологічної закритості в хлоридні кальцієво-натрієві води.

Порушення регіональної гідрогеологічної зональності надр басейну, що розглядається, викликані переважно девонськими криптодіапірними соляними підняттями з відкритими ядрами протикання.

З метою встановлення закономірностей у зміні хімічного складу вод з глибиною на територіях розвитку нафтогазоносних родовищ, було проаналізовано 100 свердловин північного борту і Північної прибортової зони грабену ДДЗ.

Мінералізація вод змінюється від 134,5 до 229,5 г/дм<sup>3</sup> (площа Хухринська-6, інтервал 3400–3450 м) і збільшується з заглибленням поверхні фундаменту. Ці води слабо сульфатні: коефіцієнт сульфатності ( $r_{SO_4}/r_{Cl}$ ) $\times 100$  змінюється від 0,005 до 0,5 (частіше 0,02–0,2). Реакція проб кисла (рН = 4). Для таких вод характерні низькі показники коефіцієнту метаморфізації ( $r_{Na}/r_{Cl}$  – 0,58–0,68), чим вони відрізняються від вод, що приурочені до порід чохла, які залягають вище.

Підземні води, що знаходяться в породах палеозою і оточують відомі скупчення вуглевонів, за хімічним складом переважно належать до хлоридного кальцієвого типу. У відкладах нижнього карбону, на північному захо-

дів та півночі території, трапляються також води гідрокарбонатного натрієвого та сульфатного натрієвого типів. Мінералізація цих вод коливається в широкому діапазоні: від 3,0 до 420,0, а здебільшого становить 100–250 г/кг.

На рис. 2 представлено вміст хімічних елементів у відкладах карбонового віку (нафтогазоносна площа – Бубнівська, глибина 2738–3291 м). На глибині 3154–3160 м відмічається збільшення вмісту сульфатів до 1147, за середнього 300–400 мг/дм<sup>3</sup>.

Аналізуючи рис. 2 необхідно відмітити, що основою хімічного складу підземних вод іон хлору, розподіл якого з глибиною співпадає з розподілом мінералізації води.

Зміна вмісту іону  $SO_4^{2-}$  має деякі відмінності його величина майже не виходить за 350–400 мг/дм<sup>3</sup> і має два мінімуми, які вказують на істотне зменшення вмісту іону хлору в інтервалах 2969–2974 та 3132–3140 м. Можливо це також пов'язано зі збільшенням величини рН саме в цих інтервалах.

Інші два представника групи галогенів – Br і J характеризуються меншим вмістом – до 200 і до 10 мг/дм<sup>3</sup> відповідно. Різких змін їхнього вмісту також не спостережено.

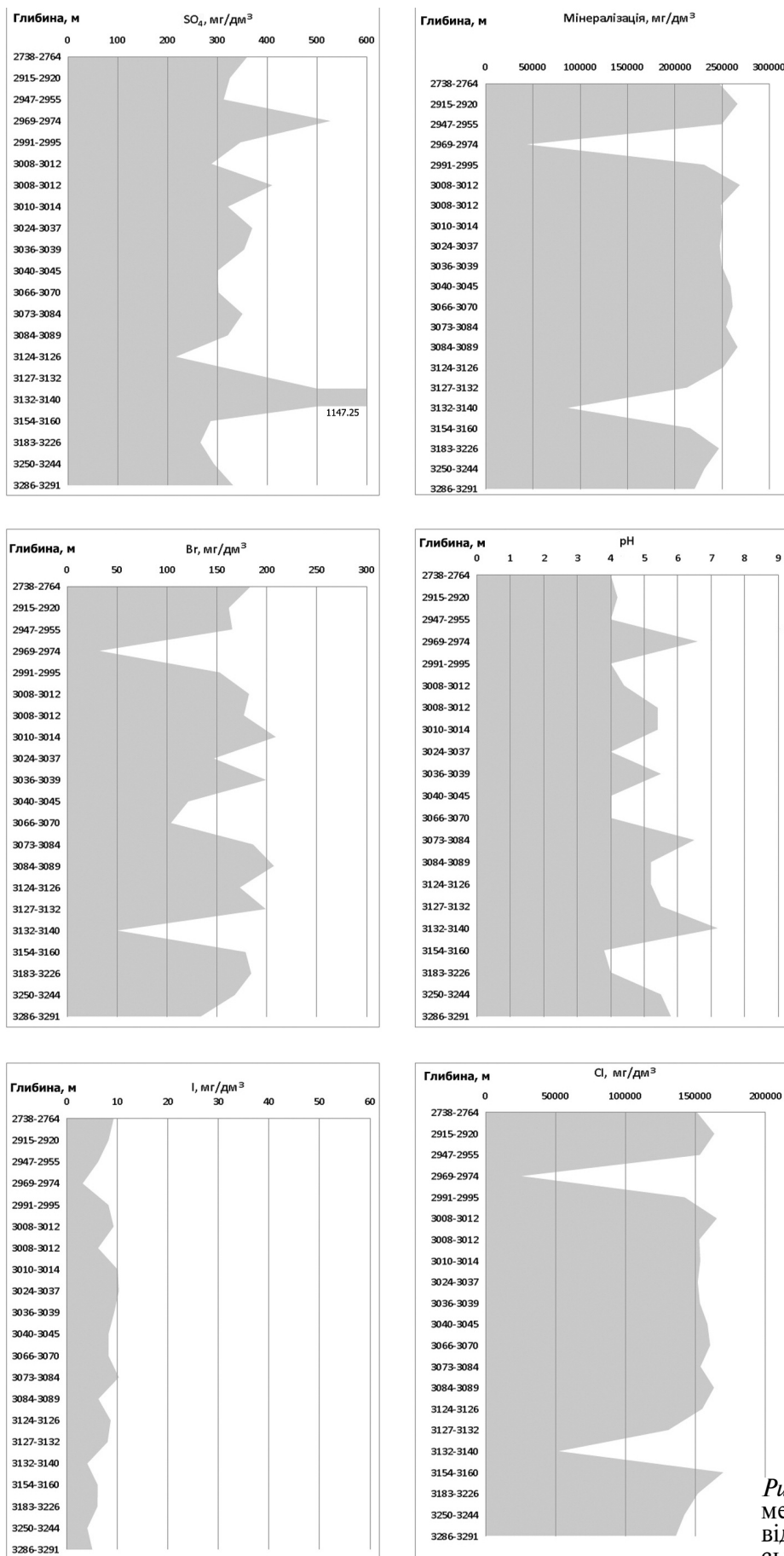
Коефіцієнт метаморфізації змінюється в межах 0,70–0,85, але спостерігаються і аномальні його значення – 0,07 у девонських та 0,99 в середньокам'яновугільних відкладах.

Характерною особливістю гідрогеологічних умов Дніпровського нафтогазового басейну є наявність гідрогеологічної інверсії, суть якої полягає в тому, що у низці структур під розсолами хлоркальцієвого типу залягають високонапірні термальні води гідрокарбонатно-кальцієвого типу з низькою мінералізацією (менше 10 г/дм<sup>3</sup>) і високим газонасиченням. З ними пов'язані геотермобаричні аномалії (пластовий тиск з коефіцієнтом аномальності 1,7–1,9, пластова температура до 145 °С на глибині 4,5–5,5 км).

Проникнення гідрогеологічних інверсій з глибинних горизонтів підтверджується приналежністю мінімальної глибини їх залягання до ділянок максимальної інтенсивності сучасних рухів земної кори.

**Висновки.** Результати гідрогеохімічних досліджень вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (ДДАБ) дозволили встановити особливості розподілу галогенів (Cl, J, Br) у водах різних гідрогеодинамічних зон.

## Галогенна складова в гідрогеохімічній зональності підземних вод ДДAB



*Рис. 2.* Вміст хімічних елементів у водах карбонатних відкладів на Великобубнівській площі

Встановлена закономірність – вміст галогенів збільшується зі зміною характеру водообміну – у зоні вільного водообміну їх вміст мінімальний, у зоні дуже утрудненого – максимальний.

Розраховано коефіцієнти метаморфізації (Км) для вод різних зон водообміну: хлоридні натрієві води (0,85–0,65), хлоридні кальцієві (0,67–0,28) і хлоридні магнієві (0,28–0,17 і нижче).

#### **Література**

1. *Бабинец А.Е.* Подземные воды юго-запада Русской платформы. – К. : Изд-во АН УССР, 1961.
2. *Войткевич Г.В., Мирошников А.Е. и др.* Краткий справочник по геохимии. – М. : Недра, 1977. – 184 с.
3. *Зайцев И.К., Толстихин Н.И.* Закономерности распространения и формирования минеральных подземных вод. – М. : Недра, 1972. – 280 с.
4. *Крайнов С.Р., Швец В.М.* Гидрогеохимия : Учебник для вузов. – М. : Недра, 1992.
5. *Кухар В.В.* Деякі аспекти вивчення гідро геохімічної зональності підземних вод Дніпровсько-Донецької западини та її зв'язок з нафтогазоносністю // Збірник наукових праць Українського державного геологорозвідувального інституту. – 2008. – № 2. – С. 164.
6. *Проблемы теоритической и региональной гидрогеохимии* / Под ред. К.Е. Питьевой. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1979. – 234 с.
7. *Формування мінеральних вод України* / За ред. В.М. Шестопалова. – К. : Наук. думка, 2009.

**Кухар В.В., Кухар М.В. Галогенная составляющая в гидрогеохимической зональности подземных вод днепровско-донецкого артезианского бассейна.** Показаны результаты гидрогеохимических исследований вод Днепровско-Донецкого артезианского бассейна (ДДАБ). Рассмотрены особенности распределения галогенов (Cl, J, Br) в водах разных гидрогеодинамических зон. Прослеживается определённая закономерность – содержание галогенов возрастает со сменой характера водообмена – в зоне свободного водообмена их содержание минимально, в зоне очень затрудненного – максимально. Рассчитан коэффициент метаморфизации (Км) для вод разных зон водообмена: хлоридные натриевые воды (0,85–0,65), хлоридные кальциевые (Км: 0,67–0,28) и хлоридные магниевые (0,28–0,17 и меньше).

**Kukhar V.V., Kukhar M.V. Halogen elements in groundwater hidrogeochemical zonality of Dnypro-Donetsk cavity.** This paper demonstrate the results of hydrogeochemical studies of water Dnieper-Donets artesian basin (DDAB). The features of the distribution of halogens (Cl, J, Br) in waters of different hydrogeodynamic areas shows a pattern – the content of halogens increases with the changing nature of water exchange - in the area of free water exchange their contents to a minimum in the zone very difficult – maximum. Calculated coefficients of water metamorphization (Km) for the various zones of water exchange: sodium chloride water (Km: 0,85–0,65), calcium chloride water (Km: 0,67–0,28) and magnesium chloride water (Km: 0,28–0,17 and below).

*Надійшла 12.04.2013*