

АНОМАЛІЇ ЙОДУ У ПІДЗЕМНИХ ВОДАХ ПІВНІЧНО-СХІДНОЇ ЧАСТИНИ ДНІПРОВСЬКО-ДОНЕЦЬКОГО ВОДОНАПІРНОГО БАСЕЙНУ

В.Г. Суярко, ORCID 0000-0002-3693-4767
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
61000, майдан Свободи, 4, Харків, Україна
E-mail: vgsuyarko@gmail.com

О.В. Гаврилюк, ORCID 0000-0002-7057-2499
Харківський національний університет
міського господарства ім. О.М. Бекетова
61002, вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, Україна
E-mail: gavrilyk.o.v@gmail.com

Розглянуто формування та поширення аномалій йоду у підземних водах північно-східної частини Дніпровсько-Донецького водонапірного басейну. Визначено, що аномалії йоду у підземних водах закономірно формуються на ділянках сучасного тепломасоперенесення, які просторово збігаються з антиклінальними структурами. Попри високу летючість, йод утворює невеликі за розмірами, але контрастні гідрогеохімічні аномалії, які чітко вказують на канали його висхідної міграції. Водні ореоли розсіювання йоду формуються над скупченнями вуглеводнів, захованого гідротермального зруденіння та на тектонічно активних ділянках розломів.

Ключові слова: йод, аномалія, підземні води, тепломасоперенесення, тектонічна активізація, антиклінальні структури, розломи.

Вступ. Йод у підземних водах північно-східної частини Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ), не зважаючи на його незначне поширення, має велике значення у геологічних дослідженнях. Аномалії елемента є діагностичним показником зон тектонічних розломів, сейсмічної активності та гідрогеохімічним індикатором скупчень вуглеводнів, а також осередків тепломасоперенесення в земній корі. Окрім того, йод – промисловий елемент, що вилучається з йодних (йодно-бромних) вод і широко використовується з бальнеологічною метою [19, 20, 23, 26].

Йод бере участь у екзогенних і ендегенних геологічних процесах, і тому може мати як органічне, так і неорганічне (унаслідок дегазації глибинних зон земної кори) походження [4, 5, 14]. Тому дослідження процесів геохімічного перетворення речовини земної кори, завдяки яким йод надходить у підземні води, а також особливості водної міграції та концентрації елемента на геохімічних бар'єрах – актуальна задача сучасної гідрогеохімії.

Закономірностям розповсюдження йоду у підземних водах регіону присвятили різні дослідники. У 1961 р. А. Бабінець у монографії про підземні води Східно-Європейської платформи вка-

зав на деякі закономірності поширення і концентрації йоду у підземних водах [2]. Першим спеціальним дослідженням гідрогеохімії йоду була стаття І. Вовка та Т. Ніколаєнко (1976), у якій розглянуто закономірності розподілу та накопичення йоду і броду у підземних водах нижніх гідродинамічних зон Дніпровсько-Донецької западини [4]. У 1970 р. А. Кудельський та М. Козлов, а 1976 р. А. Кудельський у монографіях проаналізували гідрогеохімію йода та особливості формування йодо-бромних вод [15, 16]. У 1973 р. А. Романюк описав особливості йодо-бромних вод палеозойських відкладів Дніпровсько-Донецької западини та умови їх формування [20], а Л. Швай у монографії «Підземні води Дніпровсько-Донецької западини у зв'язку з нафтогазоносністю» вказав на закономірність присутності йоду у пластових водах [27].

1988 р. В. Суярко описав геохімічні особливості підземних вод Донбасу і східної частини ДДЗ, навівши зокрема дані і про вміст у них йоду [21]. 1997 р. цей же автор уперше для підземних вод Донбасу та сходу ДДЗ описав формування контрастних аномалій йоду та можливість використання йодних вод як гідромінеральної сировини [23]. 2003 р. В. Гайдучок-Ємець, І. Кураєва, О. Іванків охарактеризували розподіл броду, йоду, бору та амонію у підземних водах палеозойських відкладів

Дніпровсько-Донецької западини [3]. 2006 року В. Суярко опублікував монографію «Геохімія підземних вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена», у якій визначив середні та аномальні концентрації йоду у різних типах підземних вод і побудував карту розподілу гідрогеохімічних аномалій елемента [24]. 2013 р. В. Суярко, О. Сердюкова та О. Гаврилюк охарактеризували розподіл галогенів (Br, J, F) у підземних водах Донбасу та східної частини ДДЗ [25].

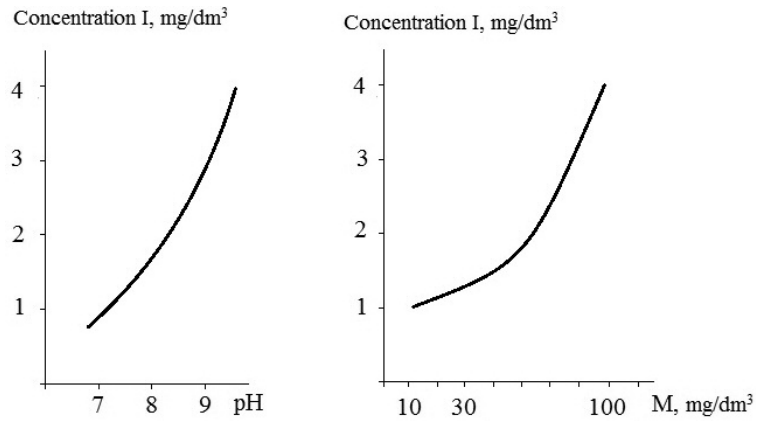
2013 р. Е. Жовінський, М. Кухар, К. Дмитренко проаналізували вміст галогенів у підземних водах нафтогазоносних районів ДДЗ [7], а 2014 р. Е. Жовінський, В. Бордон, Н. Крюченко, М. Кухар описали галогени у підземних водах четвертинних і палеогенових відкладів Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну [8].

2017 р. В. Суярко та О. Гаврилюк обґрунтували можливість використання пластових вод як гідромінеральної сировини на бром та йод [26], а 2018 р. О. Гаврилюк проаналізувала закономірності поширення йоду у підземних водах деяких структур Дніпровсько-Донецької западини [6].

Таким чином, проблему формування та закономірності розміщення гідрогеохімічних аномалій йоду в підземних водах регіона висвітлено недостатньо повно. Автори із урахуванням нових фактичних даних пропонують інший погляд на вирішення цього питання, в чому й полягає **актуальність статті**.

Мета статті – визначити закономірності формування та розміщення гідрогеохімічних аномалій йоду в підземних водах північно-східної частини Дніпровсько-Донецького водонапірного басейну.

Концентрація йоду у водному розчині залежно від величини мінералізації та рН
Concentrations of iodine in aqueous solution, depending on mineralization and pH



Таблиця 1. Вміст йоду у підземних водах східної частини Дніпровсько-Донецького водонапірного басейну

Table 1. The content of iodine in underground waters in the eastern part of Dnipro-Donetsk water-supply basin

Водоносні горизонти та комплекси	Тип води	Концентрація I, мг/дм³		
		min	max	середнє
Водоносний горизонт четвертинних відкладів	HCO ₃ – Ca (Mg); HCO ₃ – SO ₄ – Ca (Mg, Na); SO ₄ – Na (Ca)	<0,01	0,95	0,14
Водоносний комплекс неогену – палеогену	HCO ₃ – Ca (Mg, Na); HCO ₃ – SO ₄ – (Ca, Mg, Na); SO ₄ – HCO ₃ – (Ca, Mg, Na)	<0,01	0,42–0,45	0,1
Водоносний горизонт верхньої крейди	HCO ₃ – Ca(Na); HCO ₃ – SO ₄ – Ca(Mg, Na); SO ₄ – HCO ₃ – Ca(Na, Mg)	<0,01	1,4–2,42	0,14
Водоносний комплекс нижньої крейди та юри	HCO ₃ – SO ₄ – Ca(Mg, Na); SO ₄ – HCO ₃ – Ca – Na (Na – Ca, Mg); SO ₄ – Ca – Na(Mg); SO ₄ – Cl – Na – Ca(Mg); Cl – SO ₄ – Ca – Na	<0,01	1,26–2,83	0,1
Водоносний комплекс тріасу та пермі	SO ₄ – HCO ₃ – Ca – Na; SO ₄ – Ca – Na; Cl – SO ₄ – Ca – Mg; Cl – Na – Ca	<0,01	0,81–1,62	<0,1

Об'єктом дослідження є умови формування та закономірності розповсюдження гідрогеохімічних аномалій йоду, а предметом дослідження – аномалії йоду в підземних водах регіону.

Матеріали та методи дослідження. В основу дослідження покладено фактичні матеріали результатів більш ніж 1000 аналізів проб підземних вод, відібраних у процесі гідрохімічних та гідрогеологічних знімальних і пошукових робіт у межах регіону. Для визначення йоду у воді застосовано звичайний колориметричний метод і спеціальний йодометричний, що ґрунтується на визначенні вільного йоду під час нагрівання проб. Аналіз проб води на йод виконано у хімлабораторіях ВГО «Донбасгеологія», УкрНДГазу та Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Чутливість визначення елемента складала $1 \cdot 10^{-3}$ мг/дм³.

Для статистичної обробки геологічної, гідрогеологічної та гідрохімічної інформації використано програмне забезпечення *StatSoft Statistica* та *Excel*.

Результати дослідження та їх обговорення. Йод – аніоногенний хімічний елемент VII групи таблиці Д. Менделєєва, що входить разом із бромом та фтором до підгрупи галогенів.

За геохімічними властивостями – розсіяний елемент, який має надзвичайно високу біологічну активність, що й обумовлює його наявність у різних водоносних горизонтах і комплексах гідрогеологічного розрізу регіону. Тому саме підземні води відіграють важливу роль у кругообігу йоду в земній корі [13, 16].

Серед відомих стійких комплексних сполук, у яких йод найчастіше трапляється у підземних водах – йодна кислота ($7\text{H}_2\text{IO}_6$), двооксид йоду (4IO_2), полігалогенні комплекси типу 3ICl_3 , Vg_2I_2 тощо, йодистоводнева кислота (H_2IO). Дуже часто міграція йоду відбувається й у вигляді окису йоду IO_2 (йодату) та простого аніона I– (йодиду) [1, 9, 10, 13]. Міграційна активність елемента підвищується зі збільшенням мінералізації та pH розчину (рисунок).

Таблиця 2. Вміст йоду у пластових водах тріасових відкладів нафтогазоносних антиклінальних структур регіону

Table 2. The content of iodine in reservoir waters of Triassic deposits of the oil and gas regional anticlinal structures

Назва структури, номер свердловини	Глибина, м	Концентрація I, мг/дм ³	Na/Cl	Мінералізація, г/дм ³
Шебелинська, св. 127	762–56	2,54	0,69	36,90
Шебелинська, св. 77	799–846	2,11	0,79	67,90
Соснівська, св. 24	920–950	0,49	0,87	26,80
Балаклійська, св. 6-р	1299–1389	0,60	0,80	74,97
	1318–1327	0,62	0,81	83,26

Таблиця 3. Вміст йоду у пластових водах нафтогазоносних антиклінальних структур нижньої пермі східної частини Дніпровсько-Донецької западини

Table 3. Iodine content in formation waters of oil and gas anticlinal structures of the lower Permian in eastern part of Dnipro-Donets basin

Назва структури, номер свердловин	Глибина, м	Концентрація I, мг/дм ³	Na/Cl	Мінералізація, г/дм ³
Співаківська, св. 9-р	832–870	5,70	0,76	283,70
Червоно-Донецька, св. 5-р	1957–2015	16,90	0,82	185,01
Червоно-Донецька, св. 1-р	2052–2090	<0,01	0,88	174,06
Червоно-Донецька, св. 3-р	2196–2240	12,69	0,81	217,40
Червоно-Донецька, св. 4-р	2206–2428	7,61	0,80	263,88
Балаклійська, св. 6-р	1752–1784	2,04	0,90	55,87
Балаклійська, св. 3-р	2069–2210	5,08	0,78	73,00
Балаклійська, св. 3-р	2172–2137	32,98	0,74	114,80
Шебелинська, св. 48	1895–2222	10,20	0,97	124,98
Шебелинська, св. 42	2428–2437	7,61	0,75	236,75
Співаківська, св. 1-р	690–701	5,40	0,71	159,69
Співаківська, св. 11-р	625–720	6,20	0,71	143,00

Середній вміст йоду у підземних водах різних водоносних горизонтів та комплексів північно-східної частини ДДЗ не перевищує 0,001 мг/дм³ для прісних гідрокарбонатних вод і 0,02 мг/дм³ – для хлоридних вод і розсолів [24]. Найбільший вміст елемента пов'язані з водами вилуження галогенних товщ у зоні гіпергенезу та осередками розвантаження глибинних розсолів на тектонічно активізованих ділянках розломів. Вони набагато можуть перевищувати значення регіонального фону, досягаючи 10n–100n мг/дм³ [15, 16, 17]. У

підземних водах регіону йод у концентраціях, більших за межу чутливості аналізу, трапляється нечасто – усього у 20 % проб [21, 24].

Середній вміст елемента у підземних водах закономірно збільшується з глибиною у різних геологічних структурах [4, 8, 16, 29]. Особливо це стосується вод і розсолів нафтогазоносних басейнів, до яких належить ДДЗ [11, 13, 17, 24, 28].

ДДЗ – частина однойменного палеорифту, заповненого осадовими породами, що складають три структурні поверхи: палеозойський, мезозой-

Таблиця 4. Вміст йоду у пластових водах геологічних структур кам'яновугільних відкладів східної частини Дніпровсько-Донецької западини

Table 4. The content of iodine in reservoir waters of geological structures Of Carboniferous deposits in the eastern part of Dnipro-Donets basin

Назва структур, номери свердловин	Інтервал глибин, м	Концентрація I, мг/дм ³	Na/Cl	Мінералізація, г/дм ³
Співаківська, св. 1 – р	1114–1253	15,23	0,72	172,30
	1290–1312	7,61	0,74	189,50
	1383–1402	7,61	0,74	161,10
	1476–1495	5,08	0,84	237,36
Співаківська, св. 2 – р	1292–1377	17,17	0,71	218,70
	1593–1611	7,61	0,77	215,90
	1753–2000	2,54	0,84	204,10
Співаківська, св. 7 – р	2699–2721	1,30	0,77	160,60
	2845–2891	8,10	0,74	155,40
Балаклійська, св. 3	2210–2324	12,70	0,77	69,20
	2555–2567	31,75	0,70	96,84
	2621–2629	8,40	0,67	164,25
	2738–2764	6,80	0,68	242,00
Шебелинська, св. 56	2513–2534	18,12	0,73	278,00
	2556–2567	20,31	0,70	268,70
Шебелинська, св. 57	2467–2563	15,23	0,72	259,10
Шебелинська, св. 33	2508–2525	7,61	0,74	126,70
Шебелинська, св. 51	2495–2501	20,10	0,75	257,90

Таблиця 5. Вміст йоду в ореольних водах деяких гідротермальних рудних полів та зон мінералізації регіону [17, 23]

Table 5. The content of iodine in ghost waters of some hydrothermal ore fields and mineralization zones of the region [17, 23]

Рудне поле (структура)	Металогенічна спеціалізація	Геохімічний тип вод	Мінералізація, г/дм ³	Концентрація I, мг/дм ³
Дружковсько-Костянтинівське	Hg, As, Sb	ГС, ГХ, ХН	4,0–16,0	1,6–8,0
Слов'янське	Hg, Zn, Pb	СХ, ХН	2,0–5,0	1,7–8,6
Курульське	Hg, Zn	С, СХ	1,5–3,0	0,7–1,2
Біляєвське	Zn, Pb	С, СХ	1,0–2,6	0,5–0,8
Краснооскольське	Hg, U, Pb, Zn	ГС, СГ, СХ	1,4–3,8	1,0–4,0

Примітка. Типи води: Г – гідрокарбонатна, С – сульфатна, Х – хлоридна.

Note. Types of water: Г – hydrocarbonate water, С – sulphate water, Х – chloride water.

ський та кайнозойський [6, 24]. Осадова товща зім'ята у складки і розбита тектонічними розломами різної глибини та напрямків, по яких відбувається висхідне розвантаження вод глибокого формування та потоків тепломасоперенесення до верхніх частин осадової товщі. Вздовж розломів і супровідних антиклінальних структур у підземних водах різних водоносних горизонтів і комплексів сформувалися контрастні гідрогеохімічні аномалії різних мікроелементів, серед яких і аномалії йоду [24]. Дуже часто ці аномалії у підземних водах приурочені до нафтогазоносних антиклінальних структур, у хлоридних натрієвих водах і розсолах яких вони є найконтрастнішими [1, 11, 12, 16, 27].

Існує думка, що висока концентрація йоду у підземних водах нафтогазоносних басейнів обумовлена процесами термобаричної катагенізації керогену осадових товщ, а також хімічними реакціями вилуговування його з рідких і твердих вуглеводневих систем пластовими водами і розсолами [14, 19]. Відомо, що на накопичення йоду у підземних водах впливає температура [5, 11, 13]. Це вказує, що формування йодних вод і розсолів у осадових товщах регіону просторово корелює з геотермічними аномаліями на поверхні кристалічного фундаменту – тобто з наскрізними потоками тепломасоперенесення [14, 20]. Одним із факторів накопичення йоду у підземних водах може бути радіоліз підземних вод [4]. І, основне – геохімічні аномалії йоду є досить чіткими індикаторами флюїдодинамічно відкритих розривних порушень [5, 6, 16, 18, 23].

Процеси міграції та накопичення йоду у підземних водах є складними і обумовлені різними геологічними, геохімічними та гідрогеологічними обстановками у земній корі. Установлено певні закономірності у формуванні гідрогеохімічних аномалій елемента:

- приуроченість до антиклінальних структур, контрольованих зонами розломів, та до розривних порушень різного порядку;
- просторовий збіг із геотермічними аномаліями, які є проявом існування осередків тепломасоперенесення у земній корі;
- висока концентрація йоду у хлоридних та гідрокарбонатних натрієвих водах вуглеводневих родовищ;
- збільшення вмісту елемента у підземних водах із глибиною, величиною їхньої мінералізації та рН;
- залежність концентрацій йоду у підземних водах від вмісту органічної речовини в осадових товщах морського походження [4, 6, 7, 16, 18, 24].

Залежно від цих та інших умов геологічного середовища можна побудувати різні теоретичні моделі надходження йоду у підземну гідросферу, пов'язані з його органічною, неорганічною та змішаною (подвійною) генерацією [13, 14, 29].

У зоні активного водообміну (зоні гіпергенезу) регіону вміст йоду у водах різних геохімічних типів кайнозойських, мезозойських та палеозойських водоносних горизонтів і комплексів не перевищує 2,42 мг/дм³ (табл. 1).

Суттєве збільшення концентрації йоду спостерігається у підземних водах нафтогазоносних антиклінальних структур із глибиною, що зумовлено вертикальною гідрогеохімічною зональністю та зміною хімічного складу вод – від гідрокарбонатних кальцієвих до хлоридних натрієвих (Шебелинська, Співаківська, Червонодонська, Балаклійська, Шевченківська та Волвенківська структури). Проте його вміст іноді може не залежати від складу підземних вод, а визначений, здебільшого термодинамічними умовами формування підземних вод і розсолів та величиною їхньої мінералізації (табл. 2–4). Вміст йоду у підземних водах тріасових відкладів коливається в межах 0,49–16,9 мг/дм³ і збільшується з глибиною (табл. 2). Подібним чином зміна концентрацій йоду відбувається і у нижньопермських відкладах регіону (табл. 3). Аналіз фактичних даних (табл. 3) свідчить про те, що навіть присутність товщі галогенних нижньопермських відкладів, з якими пов'язують йод та бром у природних водах, не завжди суттєво впливає на концентрації йоду у природних розчинах [24]. Подібною до нижньопермських є концентрація йоду у кам'яновугільних розсолах газоносних структур регіону (табл. 4).

В ореольних водах гідротермальних рудних ртутних полів регіону – Микитівського, Дружківсько-Костянтинівського, Слов'янського, а також на куполах з відомою ртутною та ртутно-поліметалевою мінералізацією – Червонооскольському, Курульському, Біляєвському та інших – вміст йоду у гідрогеохімічних аномаліях сягає 8,0–10,0 мг/дм³, а іноді й більше (табл. 5) [21, 22, 24].

Аналіз закономірностей розподілу йоду у підземних водах регіону може свідчити про перспективність його використання як пошукового елемента-індикатора не лише для прогнозування скупчень вуглеводнів і захованого гідротермального зруденіння [1, 9, 17, 24, 26, 28, 29], а й зон активних тектонічних порушень [5, 7, 8, 17, 18, 24]. Останнє твердження ґрунтується на високій летючості йоду навіть за невисокої температури, що, на нашу

думку, дозволяє розглядати ефективність йодометричних досліджень на рівні газортутної зйомки.

Висновки. 1. Аномалії йоду у підземних водах регіону закономірно формуються в осередках сучасного тепломасоперенесення в земній корі і, у більшості випадків, просторово збігаються з флюїодинамічно відкритими ділянками зон розломів та тектонічно активізованими антиклінальними структурами.

2. Міграція йоду в різних геохімічних типах підземних вод відбувається переважно у вигляді йодату (IO₂) та йодіду (I⁻). Попри високу летючість

елемент утворює невеликі за розмірами, але контрастні гідрогеохімічні аномалії, які чітко вказують на канали його висхідної міграції.

3. Гідрогеохімічні ореоли розсіювання йоду формуються над скупченнями вуглеводнів, захищеною гідротермальною мінералізацією та у зонах сучасного тепломасоперенесення. Це обумовлює можливість його застосування як надійного гідрогеохімічного елементу-індикатору для пошуку нафти та газу, захищеного гідротермального зруденіння, а також для трасування зон геологічно закритих глибинних розломів.

Список літератури

1. Альтовский М.Е. Гидрогеологические показатели нефтегазоносности. М.: Недра, 1961. 121 с.
2. Бабинец А.Е. Подземные воды Юго-Запада Русской платформы. Киев: Изд-во АН УССР, 1961. 378 с.
3. Гайдучок-Ємець В.В., Ємець О.В., Кураєва І.В. [та ін.]. Бром, йод, бор та амоній в підземних водах палеозойських відкладів Дніпровсько-Донецької западини. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2003. № 2/3. С. 34–37.
4. Вовк И.Ф., Николаенко Т.С. Закономерности распределения и накопления йода и брома в подземных водах нижних гидродинамических зон Днепровско-Донецкой впадины. *Геохимия*. – 1976. – № 3. – С. 413–421.
5. Гавриленко Е.С. Гидрогеология тектоносферы. Киев: Наук. думка, 1975. 195 с.
6. Гаврилюк О.В. Особливості розміщення йоду у підземних водах північного борту Дніпровсько-Донецької западини. *Матеріали Х наукової конференції молодих вчених та спеціалістів «Геологія і геохімія горючих копалин» присвячена, 100-річчю НАН України*. Львів, 2018. С. 68–69.
7. Крюченко Н.О., Жовинский Э.Я., Кухар М.В. [и др.] Галогены в подземных водах нефтегазоносных районов Днепровско-Донецкой впадины. *Геотехническая механика*. 2013. № 112. С.164–172.
8. Жовинский Э.Я., Бордон В.Е., Крюченко Н.О. [и др.]. Геохимия галогенов в подземных водах в четвертичных и палеогеновых отложениях центральной части Днепровско-Донецкого артезианского бассейна. *Литасфера*. 2014. № 1 (40). С. 119–124.
9. Голева Г.А., Крайнов С.Р., Соколов И.Ю. Методические указания по гидрогеохимическим методам поисков рудных месторождений. М.: Недра, 1968. 92 с.
10. Гринберг А.А. Введение в химию комплексных соединений. М.-Л.: Химия, 1966. 632 с.
11. Гуляева Л.А., Иткина Е.С. Йод и бром в нефтях Советского Союза. *Геохимия йода и брома в осадочной толще нефтеносных областей*. М.: ИГиРГИ, 1974. С. 5–11.
12. Карцев А.А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений. М.: Недра, 1972. 280 с.
13. Кириухин В.К., Швец В.М. Процессы формирования йодных вод. М.: Недра, 1980. 95 с.
14. Козин А.Н. К методу расчета количества эндогенного и экзогенного хлора, брома и йода в пластовых хлоридных водах. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1983. № 60. С. 88–93.
15. Кудельский А.В., Козлов М.Ф. Геохимия, формирование и распространение йодо-бромных вод. Минск: Наука и техника, 1970. 144 с.
16. Кудельский А.В. Гидрогеология, гидрогеохимия йода. Минск: Наука и техника, 1976. 215 с.
17. Методические рекомендации по применению гидрогеохимического метода поисков скрытого оруденения в Донбассе и Днепровско-Донецкой впадине / сост. В.Г. Суярко. Симферополь, 1985. 92 с.
18. Перелериев В.А., Суярко В.Г. Аномалии йода в подземных водах как индикаторы разрывных нарушений. *Проблемы региональной гидрогеохимии*. Л., 1979. С. 60–61.
19. Розен Б.Я. Геохимия брома и йода. М.: Недра, 1970. 144 с.
20. Романюк А.Ф. Про йодо-бромні води палеозойських відкладів Дніпровсько-Донецької западини. *Геология и геохимия горючих ископаемых*. 1973. Вып. 33. С. 37–40.
21. Суярко В.Г. Геохимические особенности подземных вод Донбасса. *Геохимия*. 1988. № 5. С. 738–746.
22. Суярко В.Г. Геохимические особенности и поисковые критерии ртутных месторождений Донбасса. *Геол. журн.* 1981. 41. № 2. С. 147–149.
23. Суярко В.Г. Экология подземной гидросферы Донбасса. Киев: Знання, 1997. 69 с.
24. Суярко В.Г. Геохимия подземных вод восточной части Днепровско-Донецкого авлакогена. Харьков, 2006. 225 с.
25. Суярко В.Г., Сердюкова О.А., Гаврилюк О.В. Галогены в подземных водах Донбасса и Днепровско-Донецкой впадины. *Материалы междунаrod. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы гидрогеологии и инженерной геологии на современном этапе»*. Алмата, 2013. С. 27–29.
26. Суярко В.Г., Гаврилюк О.В. Использование пластовых вод нефтегазовых месторождений в качестве гидроминерального сырья на бром. *Вісник ХНУ імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія, географія, екологія»*. 2017. Вип. 46. С. 7–14.
27. Швай Л.П. Подземные воды Днепровско-Донецкой впадины в связи с нефтегазоносностью. М.: Недра, 1973. 104 с.

28. Fuge R., Andrews M.J., Johnson C.C. Chlorine and iodine, potential pathfinder elements in exploration geochemistry. *Applied Geochemistry*. 1986. Vol. 1. P. 111–116.
29. Muramatsu Y., Wedepoht K.H. The distribution of iodine in the earth's crust. *Chemical Geology*. 1998. Vol. 147, № 3–4. P. 201–216.
30. Vinogradov A.P., Lapp M.A. Use of iodine haloes to search for concealed mineralization. *Vestnik Leningradskii Universitet: Seriya «Geologii i Geografii»*. 1971. P. 70–76.

References

1. Altovskiy, M.Ye. (1961), Hydrogeological indicators of oil and gas, Moscow, Nedra, 121 p. [in Russian].
2. Babinets, A.Ye. (1961), Groundwater South-West Russian platform, Kyiv, AN USSR, 378 p. [in Russian].
3. Gajduchok-Yemecz, V.V., Yemecz, O.V., Kurayeva, I.V., Ivankiv, O.O. (2003), Bromine, iodine, boron and ammonium in the underground waters of the Paleozoic deposits of the Dnipro-Donets depression. *Poshukova ta ekologichna geoximiya*, No. 2/3. pp. 34-37 [in Ukrainian].
4. Vovk, I.F., Nikolaenko T.S. (1976), Patterns of distribution and accumulation of iodine and bromine in the groundwater of the lower hydrodynamic zones of the Dnieper-Donets Basin. *Geokhimiya*, No. 3, pp. 413-421 [in Russian].
5. Gavrilenko, Ye.S. (1975), Tectonosphere hydrogeology, Kyiv: Naukova dumka, 195 p.
6. Gavrylyuk, O.V. (2018), Features of iodine placement in underground waters of the northern board of the Dnipro-Donets depression. *Proceedings of the X naukovoyi konferenciyi molodyx vchenykh ta specialistiv "Geologiya i geoximiya goryuchykh kopalyn" prysvyachena, 100-richchyu NAN Ukrainy* (Ukrayna, Lvov, Sentyabr 19–20, 2018), Lviv, pp. 68-69 [in Ukrainian].
7. Kryuchenko, N.O., Zhovinskiy, E.Ya., Kukhar, M.V., Dmitrenko K.E. (2013), Halogens in the underground waters of the oil and gas regions of the Dnieper-Donets Basin, *Geotekhnicheskaya mekhanika*, No. 112, pp. 164-172 [in Russian].
8. Goleva, G.A., Kraynov, S.R., Sokolov, I.Yu. (1968), Guidelines for hydrogeochemical methods of prospecting for ore deposits, Moscow, Nedra, 92 p. [in Russian].
9. Zhovinskiy, E.Ya., Bordon, V.Ye., Kryuchenko, N.O., Kukhar, M.V. (2014), Geochemistry of halogens in groundwater in the Quaternary and Paleogene sediments of the central part of the Dnieper-Donets artesian basin, *Litasfera*, No. 1 (40), pp. 119-124 [in Russian].
10. Grinberg, A.A. (1966), Introduction to the chemistry of complex compounds, Moscow-Leningrad, Khimiya, 632 p. [in Russian].
11. Gulyaeva, L.A., Itkina Ye.S. (1974), Iodine and bromine in the oils of the Soviet Union, *Geochemistry of iodine and bromine in the sedimentary column of oil-bearing areas*, Moscow, pp. 5-11 [in Russian].
12. Kartsev, A.A. (1972), Hydrogeology of oil and gas fields, Moscow, Nedra, 280 p. [in Russian].
13. Kiryukhin, V.K. (1980), The formation of iodine water, Moscow, Nedra, 95 p.
14. Kozin, A.N. (1983), To the method of calculating the amount of endogenous and exogenous chlorine, bromine and iodine in reservoir chloride waters, *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh*, No. 60. pp. 88-93 [in Russian].
15. Kudelskiy, A.V. (1970), Geochemistry, formation and distribution of iodine-bromine waters, Minsk, Nauka i tekhnika, 144 p. [in Russian].
16. Kudelskiy, A.V. (1976), Hydrogeology, Iodine Hydrogeochemistry, Minsk, Nauka i tekhnika, 215 p. [in Russian].
17. Suyarko, V.G. (1985), Guidelines for the application of the hydrogeochemical method for the search for hidden mineralization in the Donbass and the Dnieper-Donets Basin, Simferopol, 92 p. [in Russian].
18. Perederiev, V.A., Suyarko, V.G. (1979), Anomalies of iodine in groundwater as indicators of faults, *Problemy regionalnoy gidrogeokhimii*. Leningrad, pp. 60-61 [in Russian].
19. Rozen, B.Ya. (1970), Geochemistry of bromine and iodine, Moscow, Nedra, 144 p. [in Russian].
20. Romanyuk, A.F. (1973), About iodo-bromine waters of the Paleozoic deposits of the Dnipro-Donets depression, *Geologiya i geokhimiya goryuchikh iskopaemykh*, vol. 33, pp. 37-40 [in Ukrainian].
21. Suyarko, V.G. (1988), Geokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod Donbassa, *Geokhimiya*, No. 5, pp. 738-746 [in Russian].
22. Sujarko, V.G. (1981), Geochemical features and search criteria for the mercury deposits of Donbass. *Geol. Journ.*, vol. 41, No. 2, pp. 147-149 [in Russian].
23. Suyarko, V.G. (1997), Ecology of the underground hydrosphere of the Donbas, Kyiv, 69 p. [in Russian].
24. Suyarko, V.G. (2006), Groundwater geochemistry of the eastern part of the Dnieper-Donets aulacogen, Kharkov, 225 p. [in Russian].
25. Suyarko, V.G., Serdyukova, O.A., Gavrilyuk, O.V. (2013), Halogens in the groundwater of the Donbass and the Dnieper-Donets Basin. *Proc. of the Materialy mezhdunarod. nauchno-prakticheskoy konf. "Aktualnye problemy gidrogeologii i inzhernoy geologii na sovremennom etape"* (Kazakhstan, Almata, 30 noyabrya – 1 dekabrya), Almata, pp. 27-29 [in Russian].
26. Suyarko, V.G., Gavrilyuk, O.V. (2017), Use of reservoir waters of oil and gas fields as hydromineral raw materials for bromine, *Visnyk XNU imeni V.N. Karazina: Seriya "Geologiya, geografiya, ekologiya"*, vol. 46, pp. 7-14 [in Russian].
27. Shvay, L.P. (1973), Groundwaters of the Dnieper-Donets Basin in connection with oil and gas content, Moscow, Nedra, 104 p. [in Russian].
28. Fuge, R., Andrews, M.J., Johnson, C.C. (1986), Chlorine and iodine, potential pathfinder elements in exploration geochemistry, *Applied Geochemistry*, vol. 1, pp. 111-116.
29. Muramatsu, Yasuyuki, Wedepoht, K.H. (1998), The distribution of iodine in the earth's crust, *Chemical Geology*, vol. 147, No. 3-4, pp. 201-216.
30. Vinogradov, A.P., Lapp, M.A. (1971), Use of iodine haloes to search for concealed mineralization, *Vestnik Leningradskii Universitet: Seriya "Geologii i Geografii"*, pp. 70-76.

В.Г. Суярко

*Кафедра мінералогії, петрографії та корисних копалин
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна
площадь Свободи, 4, Харків, 61000, Україна*

О.В. Гаврилюк

*Кафедра механіки ґрунтів, фундаментів та інженерної геології
Харківський національний університет городского хозяйства ім. А.Н. Бекетова
ул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна
E-mail: gavriylk.o.v@gmail.com*

Аномалии йода в підземних водах северо-восточной части Днепро-Донецкого водонапорного бассейна

Рассмотрено формирование и распространение аномалий йода в подземных водах северо-восточной части Днепровско-Донецкого водонапорного бассейна. Определено, что аномалии йода в подземных водах закономерно формируются на участках современного теплопереноса, которые пространственно совпадают с антиклинальными структурами. Несмотря на высокую летучесть, йод образует небольшие по размеру, но контрастные гидрогеохимические аномалии, четко указывающие на каналы его восходящей миграции. Водные ореолы рассеяния йода формируются над скоплениями углеводородов, скрытого гидротермального оруденения и на тектонически активных участках разломов.

Ключевые слова: йод, аномалия, подземные воды, теплоперенос, тектоническая активизация, антиклинальные структуры, разломы.

V.G. Suyarko

*Department of Mineralogy, Petrography and Minerals
V.N. Karazin Kharkiv National University
Svobody Sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine*

O.V. Havryliuk

*Department of Soil Mechanics, Foundations and Engineering Geology
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
Marshal Bazhanov Street, 17, Kharkiv, 61002, Ukraine
E-mail: gavriylk.o.v@gmail.com*

Iodine anomalies in the underground water of the north-eastern part of the Dnepr-Donetsk artesian basin

Problem Statement and Purpose. Iodine anomalies are a diagnostic indicator of tectonic fault zones, seismic activity, and a hydrogeochemical indicator of hydrocarbon accumulations, as well as the focuses of heat and mass transfer in the earth's crust. In addition to that, iodine is an industrial element that is widely used for balneological purposes. Therefore, the study of the processes as a result of which iodine enters the groundwater, as well as features of water migration and element concentration is an urgent task of the modern hydrogeochemistry. **Data & Methods.** The research is based on the actual materials of the results of more than 1000 analyzes of groundwater samples taken during the process of hydrogeochemical and hydrogeological exploration within the region. **Results.** It has been established that hydrogeochemical iodine anomalies are related to anticlinal structures that are controlled by faults and to the area of halogen minerals leaching. It is established that the concentration of iodine in aqueous solutions increases with increasing the pH and salinity. This indicates a significant mobility of iodine anions in such an environment. Therefore, the most contrasting hydrogeochemical anomalies of iodine are formed in sodium chloride brines, the upward discharge of which occurs in anticlines, which are broken by faults. A significant increase in the concentration of iodine in groundwater is observed with increasing depth, which is explained both by the vertical hydrogeochemical zonality and the thermodynamic conditions for the formation of groundwater and brines. High concentrations of the element in groundwater and brines allow us to consider these waters not only as a therapeutic element, but also as hydromineral raw materials from which iodine is obtained.

Keywords: iodine, anomaly, groundwater, heat and mass transfer, tectonic activation, anticlinal structure, faults.

Надійшла 01.07.2019.