

УДК 551.491.4:551.733(477.8)

Мирослав ПАВЛЮК, Роман ПАНЬКІВ, Галина МЕДВІДЬ

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів,
e-mail: igggk@mail.lviv.ua

**ГІДРОГЕОХІМІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА
СИЛУРІЙСЬКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСУ
ЛЬВІВСЬКОГО ПАЛЕЗОЙСЬКОГО ПРОГІНУ
В КОНТЕКСТІ ПРОБЛЕМИ “СЛАНЦЕВОГО” ГАЗУ**

Наведено результати вивчення макро- та мікрокомпонентного хімічного складу пластових вод силурійського водоносного комплексу. Виявлено кореляційні зв'язки між низкою їхніх компонентів, що дозволяє вважати ці води парагенною асоціацією седиментогенної генези. Проаналізовано зміни основних генетичних показників з глибиною та по площі, встановлено гідрогеохімічні умови їхнього походження, а також обчислено коефіцієнти гідрогеологічної закритості надр регіону.

Пластові води силурійського комплексу належать до хлоридно-кальцієвого типу і мають високу метаморфізацію та переважно низький хлорбромний коефіцієнт. Це свідчить про те, що вони, імовірно, є дериватами давніх морських вод, зокрема і нафтогазоносних. Низька сульфатність пластових вод силурійських відкладів також є показником сприятливих хімічних умов збереження покладів нафти і газу.

Коефіцієнти гідрогеологічної закритості надр з глибиною, зазвичай, збільшуються. Але буває і навпаки, коли має місце вертикальний дренаж глибоко занурених водоносних горизонтів, що і виявлено в силурійських розрізах деяких свердловин. Більшість вод за значеннями коефіцієнтів закритості належать до гідродинамічної зони сповільненого обміну, і лише вода св. Луцька-1 – до зони застійного режиму, де структури згідно закриті і не промиваються.

Ключові слова: силурійський водоносний комплекс, хлоридно-кальцієвий тип, ступінь метаморфізації, коефіцієнт сульфатності, коефіцієнт гідрогеологічної закритості надр.

Вступ. Заплановані масштабні роботи з видобування “сланцевого” газу на Олеській площі викликають багато запитань, оскільки жодних спеціальних вивчень на цій території не проводили. Безумовно, необхідні попередні детальні гідрогеологічні та екологічні дослідження, а також подальший екологічний моніторинг у процесі буріння розвідкових свердловин. Відомо, що об'єктом можливої попередньої розвідки будуть ділянки поширення відкладів силурійської системи. Підземні води саме з цих відкладів є предметом нашої уваги.

Силурійські відклади регіонально поширені по всій території Волино-Поділля і детально описані багатьма дослідниками (Медведев, 1979; Геология..., 1980; Вольно-Подольская..., 1985; Дригант, 2000; Крупський, 2001; Геолого-петрофізична..., 2010). Разом із породами нижнього девону вони утворюють єдиний структурний комплекс, що у формі безперервної товщі простягається від схилів Українського щита до північно-східної смуги Передкарпатського прогину, і залягають на розмитій поверхні порід ордовику, кембрію та венду. Глибина залягання підосви силуру зростає від 10 м на сході до понад 4000 м на заході, а товщина силуру в тому самому напрямку – від 340 м до 1095 м.

За умовами осадоутворення серед відкладів силуру виокремлюють глибоко-, мілководні, рифогенні і лагунні. Глибоководні силурійські морські відклади у верхній частині (товщина 190 м) представлені сірими аргілітами з прошарками алевролітів та тонкими пропластками глинистих вапняків. Аргіліти помірно піритизовані, з аутигенним кварцом, місцями розбиті тріщинами з білим кальцитом. Середня частина (216 м) утворена темно-сірими масивними аргілітами. Вони горизонтальношаруваті, з незначною кількістю органічної речовини і помірною піритизацією, де-не-де з короткими відкритими тріщинами. Нижня частина (517 м) складена чорними аргілітами, масивними, мікрошаруватими, з великою кількістю вуглефікованої органічної речовини. Відкрита пористість аргілітів 0,6–2,4 %, проникність $< 0,001 \text{ мкм}^2 \cdot 10^{-3}$, вміст карбонатного матеріалу до 20 %; природна радіоактивність відкладів 9–18 мкР/год (Геолого-петрофізична..., 2010).

Лагунні утворення – це чергування доломітів з доларенітами, прошарками вапняків, мергелів, аргілітів, гіпсів та ангідритів. Зона рифогенних утворень представлена товщами доломітів і вапняків, біогермними та рифовими масивами (Дригант, 2000).

Об’єкт дослідження – силурійський водоносний комплекс у межах Львівського палеозойського прогину (ЛПП). Гідрогеохімічні дослідження підземних вод цього комплексу є частиною робочого плану бюджетної теми Б Ш – 06/11 “Гідрогеоекологічні дослідження Львівського прогину в зв’язку з нафтогазоносністю” і виконуються колективом лабораторії проблем геоекології Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

Геохімічні особливості силурійських підземних вод досліджено на 8 площах ЛПП: Балучинській, Володимирівській, Воютинській, Городинській, Локачинській, Луцькій, Нововолинській, Олеській. Із 15 свердловин з глибин 700–2667 м (середня глибина 1501 м) було відібрано 24 проби пластових вод. У роботі використано як власні аналітичні дані з інформаційного фонду лабораторії, зокрема В. В. Колодія, О. Д. Штогрин, В. М. Щепака, Л. К. Гуцала, С. І. Бали, М. І. Спринського, так і дані з фондів ДП “Західукргеологія” НАК “Надра України”.

Мета дослідження – на основі детального вивчення макро- і мікрокомпонентного хімічного складу пластових вод силурійського водоносного комплексу встановити гідрогеохімічні умови їхнього походження, виявити закономірності зміни основних генетичних показників з глибиною та по площі, а також проаналізувати ступінь закритості надр регіону.

Методика роботи. Встановлення певних співвідношень хімічних складників води для висновків про походження пластових вод було проведено з

опрацюванням статистичного матеріалу з допомогою комп'ютерної програми "Excel". Коефіцієнт гідрогеологічної закритості і бромний коефіцієнт обчислювали за методикою М. О. Гатальського та В. О. Кротової (Гатальский, 1954; Кротова, 1960).

Результати досліджень. Геохімічні характеристики водоносного комплексу, зокрема високий ступінь метаморфізації вод, наявність у них амонію, вуглеводневих газів, дозволяють висновити, що окисно-відновний потенціал характеризується від'ємними значеннями, імовірно, $-20 \dots -100$ мВ. Лужно-кислотне середовище має гідрогенний показник pH , який становить у середньому 6,1 (3,9–10,0), медіана – 6,0. Отже, води переважно кислі і слабкокислі, здатні руйнувати карбонати, бетон, залізо та сталь. Лужні і слабколужні води (pH 7,4–10,0) виявлені лише у двох свердловинах (Локачі-5 і Нововолинська-1) у крайових частинах комплексу, що зумовлено, можливо, процесами вилуговування (табл. 1).

Середнє значення мінералізації вод комплексу становить $74,9$ г/дм³ при коливанні в межах 11 – 133 г/дм³, проте лише в трьох пробах вона перевищує 100 г/дм³, а її медіана становить $77,9$ г/дм³ (рис. 1).

За величиною солоності такі води класифікуються як слабкі солянки. Коефіцієнт варіації значень мінералізації – $39,4$ % – є найменшим серед усіх макро- та мікрокомпонентів, що свідчить про достатньо рівномірну солоність на більшій частині площі комплексу (Методы..., 1980).

Кореляційна матриця (табл. 2) показує, що між низкою компонентів силурійських вод є суттєві зв'язки, а саме: мінералізація, Хлор, Бром, Кальцій і Магній пов'язані між собою, і лише два останні не мають суттєвого зв'язку з Бромом.

Певну інформацію про співвідношення (%) хімічних складників води дає ранжирований ряд коефіцієнтів варіації хімічних макро- і мікрокомпонентів у силурійських водах (табл. 3):

SO_4 (192) > HCO_3 (162) > NH_4 (133) > Ca (101) > J (83) > Br (54) > Mg (51) > (Na + K) (45) > Cl (41) > мінералізація (39).

Значення коефіцієнтів варіації останніх п'яти компонентів є близькими і знаходяться у вузькому інтервалі 39 – 54 %, що дозволяє вважати їх парагенною асоціацією седиментогенного походження.

М. О. Гатальський, досліджуючи води Східноєвропейської платформи, увів поняття про коефіцієнт закритості структури, яке в числових величинах, шляхом поділу величини значень мінералізації води горизонту (M , мг/дм³) на глибину його залягання (H , м), характеризує ступінь закритості структур. Отримані коефіцієнти гідрогеологічної закритості дають можливість зіставляти ступінь гідрогеологічної закритості як окремих структур, так і цілих районів (Гатальский, 1954). Із глибиною коефіцієнт закритості, як правило, збільшується. Але буває і навпаки, коли має місце вертикальний дренаж водоносних горизонтів, що глибоко залягають.

Саме такі горизонти трапляються в силурійських розрізах св. Володимирська-1, Локачі-8, -12. Нормальний розподіл значень коефіцієнтів закритості зафіксовано у св. Городинська-1, Локачі-15, -17. Більшість вод, результати досліджень яких наведено в табл. 4, за значеннями коефіцієнтів закритості (51–94) вписуються в межі 50 – 100 , що властиво гідродинамічній

Т а б л и ц я 1. Хімічний склад (мг/дм³) підземних вод силурійського водоносного комплексу Львівського палеозойського прогину

Площа	№ св.	Глибина Н, м	рН	Мінералізація М, г/дм ³	Катіони			Аніони			Мікроелементи	
					Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	J ⁻
Балучинська	1	2440	5,3	92,3	9 739,2	765,5	260,0	56 759,0	195,9	30,5	8,5	464,9
	1	1842	5	124,0	14 428,8	3 404,8	46,2	77 463,7	368,4	158,6	—*	578,5
Володимирівська	1	1886	6	82,7	11 823,6	1 702,4	106,7	41 417,3	10 122,9	1 982,5	—	—
	1	1059	6	45,7	4 088,2	997,1	30,0	26 882,9	1 167,3	707,6	0,8	125,0
Вотюгинська	1	1244	5	82,1	6 012,0	2 066,0	20,0	48 969,6	2 402,3	122,0	4,2	272,5
	2	1120	6	55,5	4 609,2	4 253,6	5,0	35 623,5	296,3	427,1	16,9	168,3
Локачинська	5	1377	10	17,1	4 662,8	—	35,0	9 906,5	573,6	61,0	—	58,8
	8	1312	6,5	72,2	18 724,6	2 186,4	25,0	43 612,1	1 730,4	164,8	2,1	211,1
Городинська	8	1327	6,5	69,7	18 929,0	1 298,6	35,0	41 831,0	1 518,6	103,7	4,2	227,0
	9	1391	6,5	77,2	21 104,8	1 584,4	80,0	46 085,0	2 075,2	122,0	4,2	247,2
Львувська	9	1391	6,5	74,2	19 225,3	2 161,8	14,0	44 675,8	1 983,4	97,6	—	223,1
	10	1394	5,5	88,2	23 626,5	2 497,5	24,0	54 978,5	150,4	152,5	5,3	280,6
Нововолинська	10	1394	6,7	83,6	23 448,7	2 833,4	18,0	52 257,0	21,8	103,7	3,1	366,0
	10	1405	5,5	87,9	23 349,4	2 791,3	33,0	54 978,5	106,3	109,8	5,3	280,6
Олеська	12	1417	3,9	133,4	5 201,2	4 222,4	0,0	86 121,4	259,3	91,5	—	93,5
	12	1442	6,2	115,7	4 472,4	3 541,9	80,0	73 344,4	238,7	1 659,2	4,2	101,5
Львувська	15	1426	6,8	78,6	4 061,5	2 597,2	13,5	49 088,5	—	115,9	3,1	334,0
	15	1434	6,7	83,6	23 467,8	2 833,4	18,0	52 257,0	21,8	103,7	3,1	366,0
Нововолинська	17	1418	4,5	38,7	8 990,9	1 433,8	25,0	24 016,4	409,1	152,6	—	113,8
	17	1458	6,2	76,5	16 617,8	3 097,0	16,0	48 378,4	135,8	36,6	2,1	225,8
Олеська	21	1694	6	44,7	10 040,4	4 688,2	25,0	27 971,9	65,9	289,9	—	141,5
	1	700	5,5	98,2	19 552,9	—	—	60 486,1	662,9	30,5	—	—
Олеська	1	2667	7,4	10,7	2 353,4	20,3	8,7	6 382,9	93,8	225,8	1,2	118,6
	1	1780	—	65,0	20 333,0	793,6	—	40 258,0	—	2 196,0	4,2	126,0

* Дані відсутні.

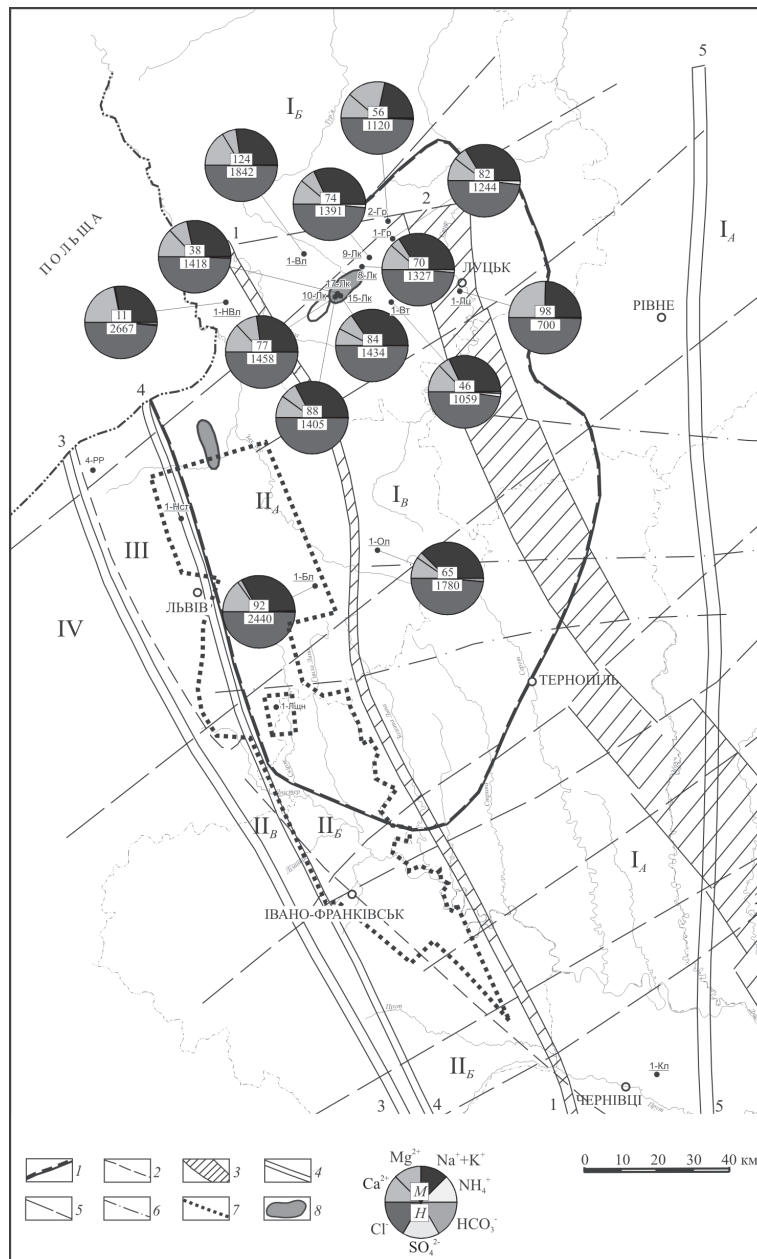


Рис. 1. Картосхема хімічного складу і мінералізації вод силурійського водоносного комплексу (тектонічна основа (Крупський, 2001)):

1 – межа Львівського палеозойського прогину; 2 – межа Передкарпатського прогину, проведена по північно-східних флексурах мезозою; 3 – зони трансформних розломів; 4 – основні розломи північно-західного та меридіонального напрямків; 5 – основні розломи північно-східного напрямку; 6 – основні розломи широтного напрямку; 7 – межі Олеської ділянки; 8 – газові родовища та перспективні структури; *M* – мінералізація води, г/дм³; *H* – глибина відбору проби, м; I – Східноєвропейська платформа: I_A – Волино-Подільська монокліналь, I_B – Ковельський виступ, I_B – Львівський палеозойський прогин (Зовнішня зона); II – Західноєвропейська платформа: II_A – Львівський палеозойський прогин (Внутрішня зона), II_B – Мілітська зона, II_B – Рава-Руська зона; III – Львівська крейдова мульда; IV – Передкарпатський прогин. Назви площ: Бл – Балучинська; Вл – Володимирівська; Вт – Воютинська; Гр – Городинська; Лк – Локачинська; Лц – Луцька; НВл – Нововолинська; Ол – Олеська.

Т а б л и ц я 2. Кореляційна матриця макро-і мікроелементів у підземних водах силурійського водоносного комплексу Львівського палеозойського прогину

Показники	Глибина <i>H</i> , м	<i>pH</i>	Мінералізація <i>M</i> , г/дм ³	Катіони				Аніони			Мікроелементи		$\frac{rSO_4 \cdot 100}{rCl}$	$\frac{rNa}{rCl}$	Cl/Br
				Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	J ⁻	Br ⁻			
<i>H</i> , м	1,00														
<i>pH</i>	0,07	1,00													
<i>M</i>	-0,17	-0,60	1,00												
Na ⁺ + K ⁺	-0,09	-0,23	0,44	1,00											
Ca ²⁺	-0,10	-0,46	0,74	-0,26	1,00										
Mg ²⁺	-0,51	-0,31	0,66	0,02	0,53	1,00									
NH ₄ ⁺	0,52	-0,10	0,21	0,22	0,13	-0,34	1,00								
Cl ⁻	-0,19	-0,60	0,99	0,41	0,75	0,69	0,17	1,00							
SO ₄ ²⁻	0,08	0,002	0,04	0,06	0,00	-0,20	0,22	-0,08	1,00						
HCO ₃ ⁻	0,17	-0,01	0,05	-0,19	0,21	-0,15	0,24	0,00	0,65	1,00					
J ⁻	-0,10	-0,37	0,10	-0,02	0,05	0,44	0,21	0,12	-0,18	0,00	1,00				
Br ⁻	0,22	-0,39	0,70	0,82	0,11	0,28	0,36	0,69	-0,10	-0,40	0,10	1,00			
<i>rNa/rCl</i>	0,06	0,40	-0,47	0,55	-0,88	-0,58	0,05	-0,50	0,13	-0,15	-0,24	0,20	1,00		
Сульфатність	0,08	0,14	-0,10	-0,08	-0,04	-0,21	0,21	-0,21	0,98	0,44	-0,22	-0,35	0,12	1,00	
Cl/Br	-0,21	-0,37	0,54	-0,45	0,92	0,49	-0,08	0,56	-0,12	0,38	0,03	-0,38	-0,84	-0,20	1,00

Т а б л и ц я 3. Статистичний аналіз макро-і мікроелементів у підземних водах силурійського водоносного комплексу Львівського палеозойського прогину

Статистика	Глибина H, м	pH	Мінералізація M, г/дм ³	Катіони				Аніони			Мікроелементи	
				Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ⁴⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	J ⁻	Br ⁻
Кількість	24	23	24	24	24	22	22	24	24	16	21	
Мінімум	700	3,9	10,7	2 353,36	1 636,6	20,31	0	6 382,9	21,8	0,84	58,75	
Середнє	1 501	6,10	74,89	16 568,31	8 745,54	2 210,07	41,73	45 989,39	1 118,18	4,54	239,56	
Максимум	2 667	10	133,35	27 588	37 355,96	4 253,55	260	86 121,35	10 122,9	16,93	578,48	
Статистичне відхилення	408,43	1,17	29,50	7 461,01	8 859,47	1 122,85	55,32	18 846,11	2 149,52	3,77	129,49	
Дисперсія	166 814,6	1,38	870,43	55 666 640	78 490 269,2	1 260 783,63	3 060,60	355 175 895	4 620 418,3	14,22	16 768,67	
Медіана	1 410,75	6	77,91	19 077,15	5 765,17	2 174,1	25	47 231,715	332,331	4,2	225,78	
Мода	1 391	6	н. в.*	н. в.	4 539,3	2 833,4	25	54 978,5	21,8	4,2	280,6	
Експес	2,957	4,996	0,465	-0,950	5,667	-0,485	12,093	0,526	16,092	8,210	0,989	
Асиметрія	1,287	1,363	-0,285	-0,597	2,441	0,080	3,250	-0,081	3,811	2,611	0,988	
Коефіцієнт варіації, %	27,22	19,27	39,39	45,03	101,30	50,81	132,58	40,98	192,23	83,08	54,05	

* Не визначали.

зоні сповільненого водообміну, і лише вода св. Луцька-1 ($M/H = 140$) належить до зони застійного режиму, де структури, за М. О. Гатальським (Гатальський, 1954), є закритими і не промиваються. Обчислені в табл. 4 значення закритості структур добре узгоджуються з величинами хлорбромних коефіцієнтів (рис. 2).

Значення генетичного хлорбромного коефіцієнта в силурійських водах (табл. 5, $n = 22$; n – кількість визначень) можна представити таким ранжированим рядом:

54 < 122 < 134 < 143 < 147 < 169 < 180 < 184 < 186 < 196 < 199 < 200 < 207 < 211 < 212 < 214 < 215 < 320 < 722 < 921.

Значення хлорбромного коефіцієнта в більшості цих вод коливаються в межах 54–320, тому їх можна вважати дериватами давніх морських вод, зокрема і нафтогазоносних. Дві проби св. Локачі-12 відрізняються значно вищими значеннями коефіцієнта – 722 і 921, що можна пояснити локальним вилуговуванням цими водами соленосних відкладів. Усі води силурійського комплексу – хлоридно-кальцієвого типу: їхній коефіцієнт метаморфізації $K_1 = rNa/rCl$ коливається в широких межах – від 0,09 до 0,78; середнє 0,61; $n = 24$. За методикою (Прогнозування..., 2004) ми підраховали два інші коефіцієнти метаморфізації $K_2 = (rCl - rNa)/rMg$ і $K_3 = rCa/rMg$. За значеннями

Т а б л и ц я 4. Коефіцієнти закритості структур

Площа	№ св.	Глибина H , м	Мінералізація M , г/дм ³	Br, мг/дм ³	Br/ H	M/H
Балучинська	1	2440	92,30	464,90	0,19	38
Володимирська	1	1842	124,03	578,48	0,31	67
	1	1886	82,70	–*	–	44
Воюгинська	1	1059	45,68	125,04	0,12	43
Городинська	1	1244	82,10	272,54	0,22	66
	2	1120	55,50	168,34	0,15	50
Локачинська	5	1377	17,07	58,75	0,04	12
	8	1312	72,18	211,09	0,16	55
	8	1327	69,65	227,00	0,17	52
	9	1391	77,23	247,20	0,18	56
	9	1391	74,21	223,11	0,16	53
	10	1394	88,22	280,60	0,20	63
	10	1394	83,59	366,00	0,26	60
	10	1405	87,87	280,60	0,20	63
	12	1417	133,35	–	–	94
	12	1442	115,74	101,54	0,07	80
	15	1426	78,59	334,00	0,23	55
	15	1434	83,61	366,00	0,26	58
17	1418	38,74	113,83	0,08	27	
17	1458	76,50	225,78	0,15	52	
21	1694	44,74	141,50	0,08	26	
Луцька	1	700	98,16	–	–	140
Нововолинська	1	2667	10,70	118,55	0,04	4
Олеська	1	1780	65,00	126,00	0,07	37

* Дані відсутні.

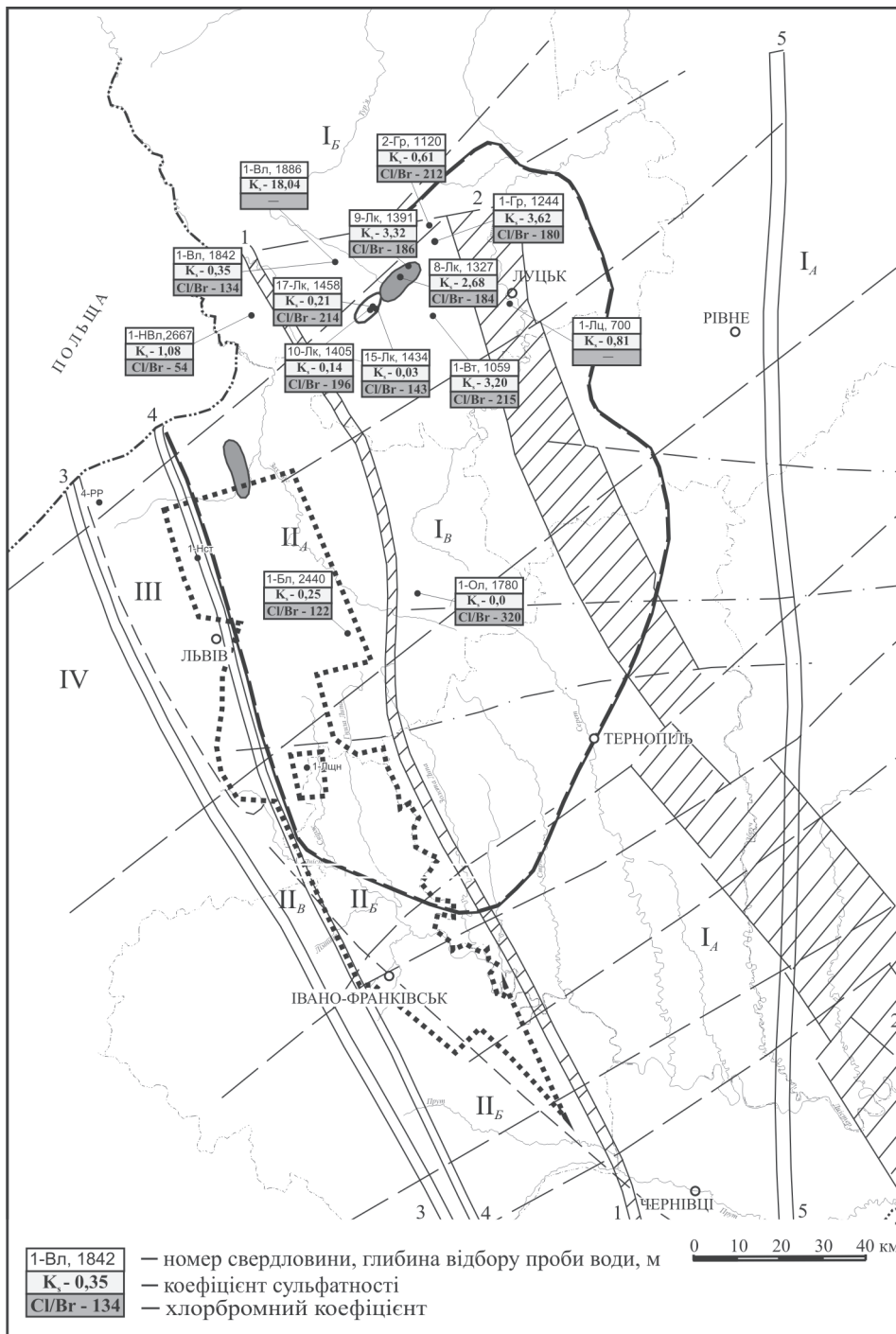


Рис. 2. Картосхема значень хлорбромного коефіцієнта та коефіцієнта сульфатності вод силурійського водоносного комплексу. Умовні позначення див. рис. 1.

Т а б л и ц я 5. Співвідношення компонентів у підземних водах силурійського водоносного комплексу Львівського палеозойського прогину

Площа	№ св.	Глибина H, м	rNa/rCl	$rCl-rNa$ Mg	rCa/rMg	$rSO_4 \cdot 100$ rCl	Cl/Br
			K ₁	K ₂	K ₃		
Балучинська	1	2440	0,65	8,82	7,72	0,25	122
Володимирівська	1	1842	0,55	3,52	2,57	0,35	134
	1	1886	0,58	3,51	4,21	18,04	—*
Воюгинська	1	1059	0,67	3,05	2,49	3,20	215
Городинська	1	1244	0,70	2,44	1,76	3,62	180
	2	1120	0,44	1,61	0,66	0,61	212
Локачинська	5	1377	0,73	—	—	4,27	169
	8	1312	0,66	2,31	1,53	2,93	207
	8	1327	0,70	3,34	2,66	2,68	184
	9	1391	0,71	2,93	2,27	3,32	186
	9	1391	0,66	2,38	1,64	3,28	200
	10	1394	0,66	2,55	1,58	0,20	196
	10	1394	0,69	1,95	0,97	0,03	143
	10	1405	0,65	2,33	1,35	0,14	196
	12	1417	0,09	6,34	5,37	0,22	921
	12	1442	0,09	6,43	5,53	0,24	722
	15	1426	0,70	1,92	0,95	0,00	147
	15	1434	0,69	1,94	0,97	0,03	143
	17	1418	0,58	2,43	1,52	1,26	211
	17	1458	0,53	2,52	1,37	0,21	214
	21	1694	0,55	2,78	1,85	0,17	199
Луцька	1	700	0,50	—	—	0,81	—
Нововолинська	1	2667	0,57	46,47	48,87	1,08	54
Олеська	1	1780	0,78	3,85	3,47	0,00	320

* Дані відсутні.

коефіцієнтів метаморфізації можна виокремити певні води: $K_1 \leq 0,61$ – у водах св. Володимирівська-1, Городинська-2, Локачі-12, -17, -21, Луцька-1, Нововолинська-1; $K_2 \geq 8$ – у водах зі св. Балучин-1, Нововолинська-1, і $K_3 \geq 5$ – у водах зі св. Балучин-1, Локачі-12, Нововолинська-1. Наведені дані свідчать про те, що згадані води належать до вод високої метаморфізації.

У силурійських водах хлоридно-кальцієвого типу вміст сульфатів становить у середньому 1 196 (22–10 123) мг/дм³, тобто змінюється в широких межах. Коефіцієнт варіації – 178 % – є найвищим серед інших. Проте загалом води переважно безсульфатні (58 % проб: сульфатність ≤ 1) та малосульфатні (38 % проб: сульфатність 1,03–4,3). Максимальне значення коефіцієнта сульфатності 18,04 виявлено у воді св. Володимирівська-1 на глибині 1886 м (див. табл. 5). Відсутність сульфатів у водах є показником сприятливих хімічних умов збереження покладів нафти і газу (Карцев, 1972).

Найбільш поширеними і характерними мікрокомпонентами в силурійських водах є Амоній, Бром та Йод (див. табл. 1). Співробітники лабораторії виявили локальні аномалії, пов'язані з наявністю в надрах покладів нафти і

газу. Встановлено, що при визначенні як фонових концентрацій, так і контрастності аномалій доцільно застосовувати не абсолютні, а відносні концентрації мікрокомпонентів. Найінформативнішим щодо пошуку є аномальний вміст у пластових водах Радію, Стронцію, Амонію, Бору, Силіцію, Купруму, Мангану і легких фенолів (Микрокомпоненты..., 1975).

Амоній у водах існує у формі хлориду, має деякі подібності з Йодом, зокрема органічне походження. У поверхневих і ґрунтових водах його вміст становить $0-0, n$ або n мг/дм³. Джерелом амонію у водах нафтоносних відкладів є розсіяна органічна речовина порід. У водах нафтоносних відкладів він утворюється при розкладанні та розчиненні в нафті азотистих речовин. Аномальний вміст амонію ~ 100 мг/дм³ у глибоких девонських солянках Східноєвропейської платформи є показником нафтогазоносності ділянки. Його вміст у силурійських підземних водах ЛПП становить $41,7$ ($0-260$) мг/дм³. Загалом це невисокий вміст, оскільки тільки у двох пробах води (св. Балучин-1, гл. 2440 м і св. Володимирівська-1, гл. 1886 м) (див. табл. 1) він є дещо підвищеним (260 і 107 мг/дм³ відповідно), а в тринадцяти пробах – зовсім низьким (від 0 до 16 мг/дм³). Коефіцієнт варіації 132% свідчить про значну нерівномірність розподілу амонію в гідрогеологічному комплексі.

Бром. У силурійських водах хлоридно-кальцієвого типу вміст такого характерного мікроелемента відносно невисокий – $296,6$ ($58,8-578,5$) мг/дм³, медіана значень вмісту становить $225,8$. Коефіцієнт варіації 54% свідчить про його досить рівномірний розподіл у водах, що подібно до розподілу таких макрокомпонентів, як Cl, Mg, Na + K (див. табл. 2). Кореляційна матриця підтверджує тісний зв'язок Бром з вмістом (Na + K) $+0,82$; хлору $+0,69$; мінералізації $+0,70$. Часто вміст бром збільшується зі зростанням мінералізації і глибини.

Йод міститься у водах, імовірно, у формі йодиду натрію, материнськими для йодобромних вод є морські мули. За походженням Йод є головно біогенним і концентрується деякими морськими водоростями, губками та коралами. Іншим його джерелом у пластових водах може бути нафта. Тобто, Йод у водах є давно відомим показником нафтоносності (Карцев, 1972). У більшості природних вод його вміст (мг/дм³) незначний: у прісних ґрунтових водах – $10^{-5}-10^{-3}$; морській воді $\sim 5 \cdot 10^{-2}$; солених підземних водах $\sim 5 \cdot 10^{-1}-10^0$. У водах нафтоносних відкладів вміст Йоду, зазвичай, буває понад $3-10$ мг/дм³, але в окремих регіонах досягає $15-20$ мг/дм³ і вище ($40-60$).

Вміст Йоду в силурійських водах досліджуваного району невисокий, коефіцієнт зустрічання – 67% . Його середній вміст $4,54$ ($0,8-16,9$) мг/дм³ ($n = 16$); медіана – $4,2$. Коефіцієнт варіації досить високий – $83,08\%$, що на 29% вище, ніж для вмісту Бром. Найвищий вміст Йоду виявлено у водах св. Городинська-2 – 17 мг/дм³ (див. табл. 1, 3). У контурних водах багатьох родовищ вуглеводнів його вміст становить $10-15$ мг/дм³, максимальний – $100-120$. Підвищений вміст Йоду у водах свідчить про первісне збагачення мулів органічною речовиною і збереження основної маси седиментогенних вод, а також про закритість структур.

Мікрокомпоненти. У девонських, силурійських та кембрійських водах зі св. Нововолинська-1 виявлено від 7 до 15 мікроелементів. Проте 100% зустрічання мають лише 7 мікроелементів (мг/дм³): Sr – 162 ($26-286$), Ba –

20,4 (8,3–57), Fe – 6,7 (1,7–8,4), Si – 2,4 (0,7–3,5), Mn – 2,4 (0,58–6,5), Al – 1,33 (0,24–2,1), Cu – 0,2 (0,04–0,5), Ti – 0,4 (0,17–1,9). Відомо, що перелічені мікрокомпоненти (окрім Йоду, Броду та Бору), розчинені в нафтоносних водах, доповнюють гідрохімічну характеристику пластової води і умови її залягання (Мікрокомпоненти..., 1975).

Висновки. Усі пластові води силурійського комплексу належать до хлоридно-кальцієвого типу вод та мають високу метаморфізацію. Вони є переважно кислими і слабкокислими, здатні руйнувати карбонати, бетон, залізо та сталь. Лужні і слабколужні води виявлені в крайових частинах комплексу, що зумовлено, імовірно, процесами вилуговування. Причому ступінь агресивності лужних вод за $pH \geq 10,0$ також досить високий, вони здатні руйнувати бетон, залізобетон.

Значення коефіцієнтів варіації п'яти компонентів пластових вод (мінералізація, Хлор, Бром, Натрій + Калій і Магній) близькі і знаходяться у вузькому інтервалі 39–54 %, що дозволяє вважати їх парагенною асоціацією седиментогенного походження.

За значеннями коефіцієнтів закритості більшість проб досліджуваних вод потрапляють у межі 50–100, що властиво гідродинамічній зоні сповільненого водообміну, який, у свою чергу, гарантує збереження в них покладів вуглеводнів.

Основна маса проаналізованих вод характеризується хлорбромним коефіцієнтом, значення якого коливаються в межах 54–320, і вони, імовірно, є дериватами давніх морських вод, зокрема і нафтогазоносних.

Низька сульфатність пластових вод силурійських відкладів також є показником сприятливих хімічних умов збереження покладів нафти і газу.

Амоній у водах існує у формі хлориду; він має певні подібності з Йодом, зокрема органічне походження. Проте концентрації цих елементів у водах незначні.

Із мікроелементів у пластових водах силуру, як і кембрію та девону, найчастіше трапляються Sr, Ba, Fe, Si, Mn, Al, Cu, Ti.

Отже, на нашу думку, при проведенні пошукових і розвідувальних робіт на “сланцевий” газ у межах густонаселених територій Львівської та Івано-Франківської областей і створенні майданчиків кущового буріння з наступним проведенням гідророзриву та тривалих виробничих випробувань свердловин (згідно з проектом “Угоди про розподіл вуглеводнів, які видобуватимуться у межах ділянки Олеська”) існує небезпека виникнення значних зон тріщинуватості, що впливатиме на гідродинамічні зони сповільненого водообміну та порушуватиме закритість водоносних структур. Це призведе до значних неконтрольованих перетоків пластових вод високої мінералізації і їхнього змішування із пропантами та закачуваними рідинними хімічними добавками, що загрожуватиме забрудненню водозаборів питної води, яких є чимало на досліджуваній території. При виході на поверхню ці води будуть забруднювати довкілля, зокрема металами, та нанесуть непоправної шкоди екологічному стану навколишнього середовища.

Волино-Подольская перспективная нефтегазоносная провинция / Г. Н. Доленко, Б. П. Ризун, Е. И. Чиж и др. // Нефтегазоносные провинции Украины. – Киев : Наук. думка, 1985. – Гл. 4. – С. 62–82.

Гатальский М. А. Подземные воды и газы палеозоя северной половины Русской платформы. – Л. : Гостоптехиздат, 1954. – 173 с.

Геология и нефтегазоносность Волино-Подольской плиты / Г. Н. Доленко, Б. П. Ризун, Ю. Н. Сеньковский и др. – Киев : Наук. думка, 1980. – 106 с.

Геолого-петрофізична характеристика басейнових дрібнозернистих порід силуру південно-західної країни Східно-Європейської платформи / І. М. Куровець, Д. М. Дригант, П. М. Чепіль і ін. // Зб. наук. пр. Ін-ту геол. наук НАН України. – 2010. – Вип. 3. – С. 287–293.

Дригант Д. М. Нижній і середній палеозой Волино-Подільської країни Східно-Європейської платформи та Передкарпатського прогину // Наук. зап. ДПМ НАН України. – 2000. – Вип. 15. – С. 24–129.

Карцев А. А. Гидрогеология нефтяных и газовых месторождений / изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Недра, 1972. – 280 с.

Кротова В. А. Гидрогеологические критерии нефтеносности. – М. : Гостоптехиздат, 1960. – 161 с.

Крупський Ю. З. Геодинамічні умови формування і нафтогазоносність Карпатського та Волино-Подільського регіонів України. – К. : УкрДГРІ, 2001. – 144 с.

Медведев А. П. Природа доальпийской структуры Волино-Подольи и смежных районов. – Киев : Наук. думка, 1979. – 78 с.

Методы обработки и интерпретации результатов гидрогеологических исследований в нефтегазопроисловых целях / М. И. Суббота, В. Ф. Клейменов, Е. В. Стадник и др. – М. : Недра, 1980. – 271 с.

Микрокомпоненты в подземных водах нефтегазоносных областей Украины и их значение при поисках нефти и газа / В. В. Колодий, Л. К. Гуцало, В. М. Щепак и др. // Микроэлементы и прогнозирование нефтегазоносности. – Минск : Наука и техника, 1975. – С. 64–65.

Прогнозування, пошуки та розвідка нафтових і газових родовищ / Б. Й. Мавський, О. Є. Лозинський, В. В. Гладун, П. М. Чепіль // Підручник для студентів нафтогазових спеціальностей вищих закладів освіти. – К. : Наук. думка, 2004. – 446 с.

Стаття надійшла
19.08.13

Myroslav PAVLYUK, Roman PANKIV, Halyna MEDVID

**HYDROGEOCHEMICAL CHARACTERISTIC
OF THE SILURIAN AQUIFER COMPLEX
OF THE LVIV PALEOZOIC FOREDEEP
IN CONTEXT OF “SHALE” GAS PROBLEM**

The results of detailed study of micro- and macrocomponent chemical composition of formation waters of the Silurian strata of the Lviv Paleozoic Foredeep are presented, the vertical and spatial changes of the main genetic indicators are revealed, geochemical conditions of the origin of these aquifer complexes are established, the degree of closing of the bowels of the region are analyzed.

The formation waters of the Silurian aquifers belong to the chloride-calcium type with high degree of metamorphism. Majority of these waters has low chlorine-bromine factor that allows us to classify them as derivatives of ancient marine waters, in particular oil- and gas-bearing. Low sulfurity of the aquifer complexes of the Silurian strata is an indicator of favourable chemical conditions of conservation of oil and gas deposits.

The correlation matrix shows that series of components of Silurian waters have significant connections between them. Coefficients of variation of the five components of the formation waters (salinity, Chlorine, Bromine, Sodium + Potassium and Magnesium) are close, they are in a narrow range of 39–54%, and this allows us to consider them as a paragenetic association of the sedimentary origin.

Calculated coefficients of the hydrogeological closing of bowels with a depth, as a rule, are increased. But it happens vice versa, when there is a vertical drainage at the great depths. Such horizons were found in the Silurian section of the Volodymyrivska-1, Lokachi-8, Lokachi-12 boreholes. By value of the coefficient of bowel closing the majority of waters reaches the limits of 50–100, which is characteristic of hydrodynamic zone of slow water exchange and only water from the Lutsk-1 boreholes belongs to the zone of stagnant regime.