https:// doi.org/10.59911/conf.mpmgg.2023.18
УДК 502.175-047.44(075.8)

РЕЗУЛЬТАТИ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПІДЗЕМНИХ ВОД (ШАХТА КРАСНОЛИМАНСЬКА)

В. В. Вергельська
ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України»,
03142, м. Київ, пр-т Академіка Палладіна, 34-А,

Н.О. Д'яченко
кандидат.геол.н., доцент,
Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління,
03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2

За допомогою спеціалізованого пакету DATA ANALISIS EXCEL в роботі виконаний розрахунок кореляційної матриці хімічного складу підземних вод (ХСВ) різних гіпсометричних горизонтів, аналіз якої дав змогу дослідити лінійні зв'язки між різноманітними хімічними складовими води та визначити чітку глибинну зональність, що пов'язана зі змінами характеру водообміну (активний, утруднений та елізійний) у межах гірничого відводу шахти Краснолиманська.
Ключові слова: DATA ANALISIS, хімічний склад, підземні води, кореляція.

RESULTS OF CORRELATION ANALYSIS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF GROUNDWATER (KRASNOLIMANSKA MINE)

V. V. Vergelska
SI «The Institute of Environmental Geochemistry of NAS of Ukraine»,
03142, Kyiv, Palladin Ave., 34-A,

N. O. Diachenko
Ph.D. in Geology, Associate Professor
The State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management,
03035, Kyiv, st. Metropolitan Vasyl Lypkivskyi, 35, bldg. 2

Using a specialised DATA ANALYSIS EXCEL package, the correlation matrix of groundwater chemical composition (GCHC) of different gypsometric horizons was calculated, the analysis of which made it possible to study the linear relationships between various chemical constituents of water and determine a clear depth zonation associated with changes in the nature of water exchange (active, impeded and elision) within the Krasnolimanska mine allotment.
Key words: DATA ANALYSIS, chemical composition, groundwater, correlation.

Дослідження хімічного складу підземних вод (ПВ) вугледобувних регіонів займають особливе місце серед сучасних досліджень, але кореляційний аналіз хімічних складових ПВ з ціллю виявлення особливостей формування хімічного складу гідрогеологічних масивів у складних умовах живлення та циркуляції за рахунок тектонічних неоднорідностей та гірничих виробок, практично не

застосовують. Своєрідність хімічного типу вод зон тектонічної порушеності або складчастих форм залягання гірського масиву, особливо різко проявляється у складі та вмісті мікроелементів. Як відомо [1], більшість тектонічних зон характеризується наявністю специфічної мінералізації, яка є джерелом збагачення вод мікроелементами. У процесі збагачення основну роль відіграють розчинні у водах гази: O_2, CO_2, тощо. Численні гідрогеохімічні дослідження засвідчили наявність гідравлічного зв'язку тріщинуватих вод кори вивітрювання з водами зон тектонічних порушень і останніх з водами верхнього структурного ярусу. Водночас тектонічні порушення забезпечують найбільшу глибину проникнення розчинного у воді кисню, внаслідок чого на великих глибинах можуть відбуватися процеси окиснення сульфідів.

За даними [2] у різних складчастих структурах регіону гідрогеохімічна зональність формується залежно від багатьох чинників. У синклінальних структурах спостерігається нормальна гідрогеохімічна зональність, що визначається поширенням зверху вниз гідрокарбонатних, гідрокарбонатно-сульфатних, сульфатно-хлоридних і хлоридних вод, а також збільшенням мінералізації з глибиною [3, 4]. В антиклінальних структурах (АС) вона, як правило, різко порушується. Найконтрастніше гідрогеохімічні аномалії формуються у склепінних частинах АС, де формуються й поклади вуглеводнів.

З погляду на особливості геотектонічного розташування дослідженої території [5] наявність тектонічних неоднорідностей може суттєво проявитися у геохімічному складі підземних вод. Більш того, аналіз кореляційних зв’язків між геохімічними показниками може дати пояснення розрізнення спрямованості впливу однієї ознаки на іншу та допомогти відслідкувати зміни геохімічного складу підземних вод не тільки за розрізом, але й за кількістю.

Саме тому, метою проведених досліджень є кореляційна оцінка взаємозв’язку геохімічних показників підземних та поверхневих вод (ПОВ) на ділянці гірничого відводу шахти Краснолиманська з метою виявлення особливостей вертикальної гідрогеохімічної зональності за допомогою спеціалізованого пакету DATA ANALISIS EXCEL

Гірничий відвід шахти "Краснолиманська" розташований у центральній частині Красноармійського геолого-промислового району (КГПР). Ділянка досліджень розташована між Федорівським і Глибокоярським зсуво-скидами, розташованими нормально падінню порід. Амплітуда зміщення - 20-25 і 20-86 м відповідно. На виїмковому полі зафіксовано 11 дрібних порушень зсувно-скидового типу, розташованих як згідно з двома основними порушеннями, так і нормально до них. У покрівлі пласта l3 на відстані 18-20 м залягає міцний кварцовий пісковик l4Sl5 потужністю від кількох метрів до 15 м. Кам'яновугільні

водоносні горизонти пов'язані з одним з найбільш водоносних вапняків L1. За даними існуючих досліджень, останні характеризуються високою загальною мінералізацією (у середньому 2–2,5 г/л) та великою жорсткістю. Зі збільшенням глибини розробки вугілля водоприплив в гірничі виробки зменшується за рахунок того, що підземні води на глибині гірничих виробок накопичуються за рахунок атмосферних опадів і ПОВ.

З ціллю виявлення зональності взаємозв'язку між геохімічним складом підземних вод та глибиною її залягання на досліджуваній території, в гірничих виробках шахти «Краснолиманська» (вугільний пласт l_3), відбір проб води здійснений на різноманітних глибинах-- гірничі виробки та колодязі (табл. 1).

Проведений аналіз взаємозв'язку, наприклад, кількості катіонів Na та аніонів Cl в залежності від глибини (рис. 1), свідчить про те, що ці хімічні елементи мають синхронний відклик на зміну глибини, але на глибині понад 800 м їх показники зменшуються відносно показників на глибинах 730-500 м, але збільшуються відносно приповерхневих глибин (-200 - +0 м).

Таблиця 1

Результати хімічного складу підземних вод (мг/дм^3) різноманітних глибин відпрацювання вугільного пласта l_3 та поверхневих джерел у вигляді колодязів та відстійнику скидової води

№	Місто відбору проб	абс. від., м	гл.м	Na+	Ca+	Mg+	NH_4^-	Cl^-
1	Фланг. вент. штр. l3 ПК16	-626,2	773,0	5332,3	150,29	72,92	7,04	7998,2
2	Похил. конв. щтр. l3 ПК 29	-580,7	727,5	9210,9	425,9	152,0	16,06	15145,5
3	2 зах. лава l3, ПК 68+8,2	-571,1	716,9	9210,5	420,82	243,05	20,02	13727,4
4	3 зах. вент. штр. l3 Х ПК 49	-559,2	706,0	7559,6	490,96	230,90	20,02	12252,6
5	Відпр. блок, 2-а зах. лава l3	-520	666,5	8499,6	440,86	267,36		14351,4
6	Краснолиманська, П1, шт	-237,5	384,6	2299,9	180,35	72,92	14,97	1628,7
8,7	Вода, поверхня, ДП ВК	121,4	2,4	688,1	651,27	425,34		340,4
9	Краснолиманська, кол. 2	128,2	3,2	189,9	500,98	194,44		387,5
10	Краснолиманська, кол. 1	144,3	2,1	440,0	320,62	291,66		29,4
11	Вода скидова	187,1	0	1518,5	140,27	139,75	0,18	1637,9
12	К кор			0,92	0,31	0,48	-0,67	0,9

Подовження таблиці 1

№	SO_4^-	NO_3^-	NO_2^-	HCO_3^-	CO_3^-	мінер	заг. жорст.	pH
1	157,54			693,14	28,80	14440,23	6,75	7,7
2	6,72			488,13		25445,23	33,75	6,95
3	21,13			402,71		24045,62	20,5	6,85
4	36,50			311,18	36,01	20937,70	21,75	7,75
5	103,74	2,48		329,49		23994,93	22	7,35

6	4683,02	4,34		793,21		9677,44	7,5	6,8
8,7	4541,81			414,91		7061,77	33,75	7,45
9	985,6	110,37	0,46	353,89		2723,13	20,5	7,3
10	2980,80	44,02	0,46	518,64		4625,66	20	7,1
11	1834,784		0,46	488,128	120,02	5880,01	9,25	8,05
12	0,704	0,65	0,72	-0,041	-0,475	-0,90	0,18	-0,10

примітка: слід зауважити, що абсолютна відмітка забору проб води співвідноситься з глибиною наступним чином: абсолютна відмітка поверхні + абсолютна відмітка забору проб = глибина. тобто, глибина забору проби «фланговий вент. шт. l_3 пк16+13» = 146.8 + 626,2 = 773 м. шахтні води відбираються з відповідних природних водоносних горизонтів, тому в більшості випадків, за хімічним складом відповідають складу вод цих горизонтів. в більшості випадків, води з різних горизонтів змішуються між собою, піднімаються на поверхню та скидаються в поверхневі водойми (вода скидова).

З іншого погляду, на графічному зображенні (рис. 1, а, б) чітко виділяється 3 зони глибин, де показники, що аналізуються, мають різкий пороговий стрибок. Можна припустити, що хімічний склад підземних вод визначається глибиною залягання і характеризується доволі чітко вираженою зональністю. Зазвичай, у верхній зоні активного водообміну поширені прісні гідрокарбонатні води, що утворюються в процесі інфільтрації ґрунтових вод. Ця зона може поширюватися на глибину до 300 м (в нашому випадку -200 м).

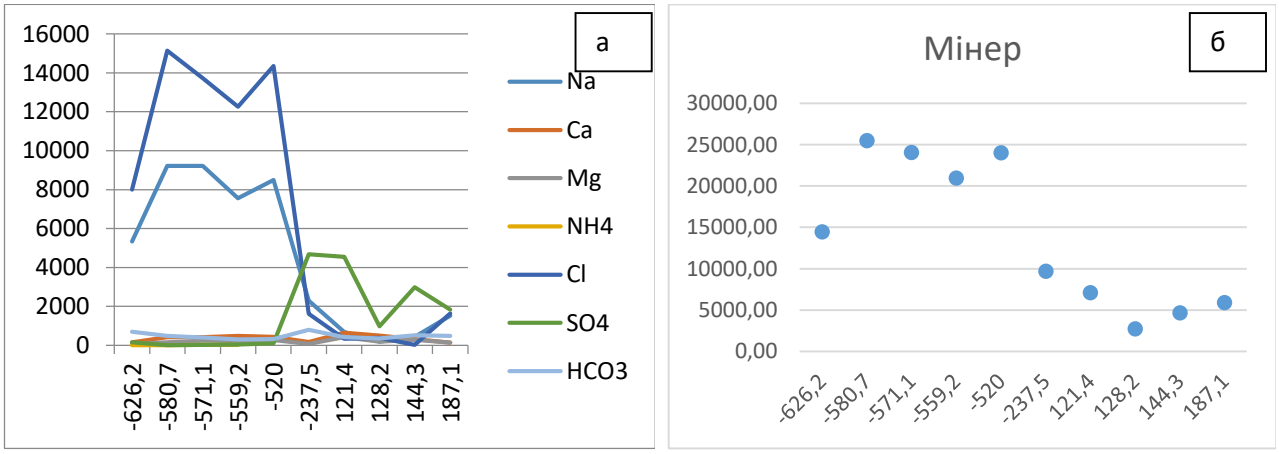

Рис. 1. Результат графічного аналізу залежності хімічних елементів (а) та загальної мінералізації (б) від глибини

Хімічний, зокрема мінеральний, склад вод цієї зони визначається кліматичними умовами, складом гірських порід та рельєфом місцевості. Зазвичай склад має вигляд: гідрокарбонати: 3500–5000 мг/дм³, хлориди: 250—500 мг/дм³, кальцій: 20–150 мг/дм³, магній: 20–150 мг/дм³. В нашому випадку показники перебільшені, окрім Mg, хоча тенденція зберігається. В зоні активного водообміну ми спостерігаємо виражені гідрокарбонатні води. В цьому сенсі, проба води, що зібрана у відстійнику не має статистичного значення, бо

звичайний водозабірний колодязь глибиною до десяти метрів буде збирати в себе переважно поверхневі води — ґрунтові та верховодку, тобто їх мінеральний склад буде близький до води з найближчого водоймища. Відстійник збирає води усіх водоносних горизонтів.

Зі збільшенням глибини гідрокарбонатні води переходять у гідрокарбонатно-сульфатні і сульфатно-гідрокарбонатні. Змішання глибинних вод у зоні ускладненого водообміну, що виражається переходом натрієвих вод у кальцієві води (водночас катіони сульфатів матимуть менший показник на нижчих позначках, а на високих навпаки). Тобто в зоні ускладненого водообміну ми спостерігаємо виражені сульфатно-кальцієві води. Середня зона з незначним водообміном характеризується відновлювальним середовищем. Води цієї зони більшою частиною сульфатно-натрієво-кальцієві чи гідрокарбонатно-натрієві, перехідні у хлоридно-гідрокарбонатно-натрієві. Глибина зони простягається до 500–700 м, у випадку тектонічних порушень може досягати 1000 м і більше. У гірничих виробках відбувається зміщення вод вищерозміщених водоносних горизонтів до нижчерозміщених, що призводить до збагачення шахтних вод хлоридами натрію. Чим глибше розташована виробка, тим сильніше позначається змішування підземних вод. У результаті цих процесів збільшується вміст у водах іонів SO_4^- і Cl^-, відповідно падає відносна кількість гідрокарбонатів.

Води нижньої зони характеризуються застійним режимом, високою мінералізацією і доходять до глибин 1000 і більше метрів. Це води переважно морського походження, склад яких протягом тривалого часу зазнав суттєвих змін. За сольовим складом води цієї зони належать до хлоридно-кальцієво-натрієвого типу.

У природі багато явищ і процесів, які взаємопов'язані між собою. Вплив одних ознак на інші може бути позитивним і негативним. Деякі методи математичної статистики можуть допомогти виявити взаємозв'язки, розкрити їхні особливості. Одним із таких методів і є метод кореляційного аналізу. Він спрямований на те, щоб на основі статистичного матеріалу виявити факт впливу однієї ознаки на іншу, установити взаємозв’язок цього впливу й оцінити впевненість в отриманих висновках.

Розрахований коефіцієнт кореляції (Ккор) в табл. 1 демонструє, що збільшення глибини впливає на зміст Na+, Cl^-, SO_4^-, NO_3^-, загальної мінералізації, але навпаки не впливає на зміст HCO_3^- , CO_3^-, Ca+ та pH.

Показники pH та загальної жорсткості також демонструють трьох зонну зональність (рис. 2), тобто вони змінюють свої показники в залежності від збільшення глибин в кожній окремій зоні.

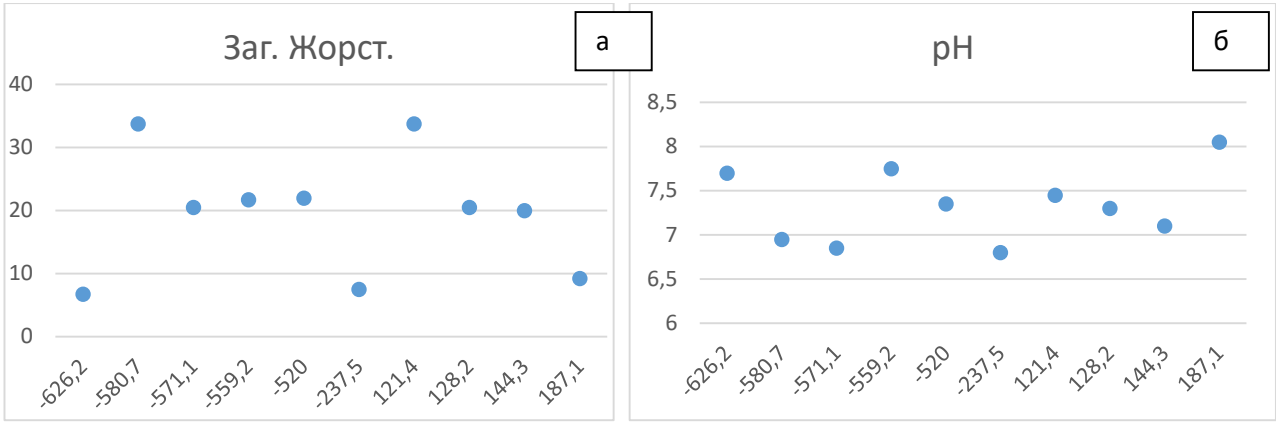

Рис. 2. Результат графічного аналізу залежності загальної жорсткості (а) та pH (б) від глибини

Тоді виникає інше питання: яким чином кожний геохімічний показник зв'язаний з іншими? Припустимо, що між двома ознаками X і У існує кореляційна залежність (взаємозв'язок), за якої зі зміною однієї ознаки змінюється й інша (табл. 2). Для розрізнення спрямованості впливу однієї ознаки на іншу введено поняття позитивного і негативного (-) зв'язку. Досліджено, що зі збільшенням Na+, значення Cl^-, тобто такий кореляційний зв'язок є позитивним (Ккор=0,994).

Таблиця 2.

Кореляційна матриця

	Na+	Ca^+	Mg^+	NH_4	Cl-	SO_4^-	NO_3	NO_2	HCO_3^-	CO_3
Na	1									
Ca	0,334	1								
Mg	0,054	0,774	1							
NH4	0,657	0,176	-0,177	1						
Cl	0,994	0,384	0,097	0,598	1					
SO_4	-0,74	-0,194	0,109	-0,311	-0,781	1				
NO_3	-0,526	0,06	-0,025	-0,415	-0,473	0,022	1			
NO_2	-0,676	-0,284	-0,099	-0,599	-0,638	0,145	0,681	1		
HCO3	-0,247	-0,543	-0,618	0,114	-0,319	0,447	-0,22	-0,113	1	
CO3	-0,168	-0,482	-0,38	-0,163	-0,168	-0,089	-0,242	0,389	0,021	1

Аналогічна кореляція спостерігається між Ca^+ та Mg^+ з достатньо великим Ккор=0,774 та інші. Навпаки, зі зменшенням катіонів Na+ збільшуються зміст аніонів SO_4, NO_3, NO_2 (зворотній або негативний кореляційний зв'язок).

Висновки.

Проведений аналіз залежності геохімічних показників ПВ від глибини свідчить про синхронний відклик окремих складових на зміну глибини, але чітко виділяється 3 зони глибин, де показники мають різкий пороговий стрибок. Тобто, хімічний склад ПВ визначається глибиною залягання і характеризується доволі чітко вираженою зональністю (3 зони різного водообміну). Прийоми методу кореляційного аналізу дозволили виявити факт впливу збільшення глибини на зміст Na+, Cl^-, SO_4^-, NO_3^-, та загальної мінералізації, але навпаки відсутність впливу на зміст HCO_3^- , CO_3^-, Ca+ та pH. Досліджено, що pH та загальна жорсткість й мінералізація ПВ також контролюються наявністю виявленої зональності. Досліджено, що між катіонами Na+ та аніонами Cl^-, кореляційний зв'язок є дуже позитивним (Ккор=0,994). Аналогічна кореляція спостерігається між Ca^+ та Mg^+ з достатньо великим Ккор=0,774 та інші. Навпаки, зі зменшенням катіонів Na+ збільшуються зміст аніонів SO_4 , NO_3, NO_2 (зворотній або негативний кореляційний зв'язок). Тобто в зоні ускладненого водообміну ми спостерігаємо виражені сульфатно-кальцієві води. Наявність великої кількості тектонічних неоднорідностей може суттєво проявитися у геохімічному складі підземних вод досліджуваної території.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Podrezenko I.N., Krasnopol’skiy I.A. About factors which influence hydrochemacal and hydrological mode of hydrosphere at the Donbas coal mines explotation. *Екологія і природокористування.* 2010. Вип. 13. С. 155-163.
2. Gavryliuk O.V., Suyarko V.G. Utilisation of formation water from oil and gas fields as a hydro-mineral raw material for bromine. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія».* 2017. Вип 46. С.7 -14.
3. Suyarko V.G. Groundwater geochemistry of the eastern part of the Dnieper-Donet avlacogen. Харьків: *ХНУ ім. В. М. Каразіна*. 2003. 225 с.
4. Вергельська В. В., Верховцев В. Г. Особливості мінералізації шахтних вод пласту L3 ДП ВК «Краснолиманська». *Наукова весна 2023 : матеріали 13-ої Всеукраїнської наук.-техн. конф. студ., аспірантів та молодих вчених, Дніпро*. 1-3 березня 2023 р. Дніпро : НТУ «ДП». 2023. С. 59-60.
5. Bezruchko K., Diachenko N. Structural-kinematic relationships at the development of shear dislocations and their impact on localization of gas-dynamic phenomena on the example of Krasnoarmiiska monocline at Donbas. *Geodynamics*. 2020. No 2 (29). P. 66-78. https://doi.org/10.23939/jgd2020.02.066.