

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 556.3:550.4:553/.4(477.63)

DOI: 10.18524/2303-9914.2023.2(43).292746

Т. О. Кошлякова¹, канд. геол. наук, старший дослідник, докторант
tatianakoshliakova@gmail.com ORCID ID: 0000-0001-8551-3531

В. Г. Верховцев², доктор. геол. наук, професор, зав. відділу
verkhovtsev@ukr.net ORCID ID: 0000-0002-1015-6725

Є. С. Луньов¹, канд. геол. наук, наук. співробітник
lunev_00@ukr.net ORCID ID: 0000-0002-9999-8565

Ю. Є. Тищенко², канд. геол. наук, старший науковий співробітник
u-risk@ukr.net ORCID ID: 0000-0003-4994-6828

В. В. Шкапенко², канд. геол. наук, в.о. завідувача лабораторії
shkapenko.viktoriya@gmail.com ORCID ID: 0000-0002-0760-2907

¹Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України,

пр. Акад. Палладіна, 34, Київ-142, 03142, Україна

²Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», пр. Акад. Палладіна, 34а, Київ-142, 03142, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТОВИХ ВОД САКСАГАНСЬКО-СУРСЬКОГО РУДНОГО РАЙОНУ ДНІПРОПЕТРОВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Стаття присвячена дослідженню ґрунтових вод Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області, які використовуються для забезпечення господарсько-питних потреб місцевого населення. Досліджено хімічний склад підземних вод, виконано оцінку їх якості та придатності для питного використання, окреслено коло ризиків для здоров'я місцевих мешканців-споживачів води, а також надане обґрунтування можливих причин змін їх хімічного складу за 42 роки експлуатації.

Ключові слова: ґрунтові води; якість питної води; хімічний склад; водоносна система; Український щит

ВСТУП

Забезпечення водної безпеки України є важливим стратегічним завданням, про що неодноразово наголошувалося на засіданнях Робочої групи з питань безпеки водних ресурсів держави та забезпечення населення якісною питною водою в населених пунктах України, що діє при Раді національної безпеки і оборони України. Як відомо, від стану водних ресурсів держави, які складаються з поверхневих, підземних та стічних вод, залежить розвиток усіх галу-

зей економіки (Пашков, 2011). В нинішніх умовах збройної російської агресії проблема забезпеченості населення якісною питною водою загострилася ще більше.

Наразі переважна більшість водоспоживачів України для забезпечення господарсько-питних потреб використовує поверхневі джерела. Для великих міст це води річок Дніпро, Дністер, Південний Буг, Сіверський Донець тощо. Запаси прісної води в нашій країні знаходяться на низькому рівні – 97,3 км³ (у маловодні роки – 66 км³). За даними А.П. Пашкова (Пашков, 2011), дефіцит водних ресурсів в Україні складає 4 млрд м³. Крім недостатньої кількості води, серйозною проблемою є її якісні характеристики. Населення 40% території нашої держави споживає воду, яка не відповідає вимогам вітчизняних нормативних документів. За даними ООН, станом на 2022 рік за якістю питної води Україна займала 66 рядок в рейтингу із 180 країн світу. При цьому щорічно в басейни українських річок скидається близько 9,6 млрд м³ недостатньо очищених стічних вод, з них 2,9–4,0 млрд м³ мають перевищення допустимих концентрацій токсичних сполук у своєму складі. Варто відмітити, що лівова частина цих стоків належить підприємствам гірничо-металургійної галузі. На сьогодні рівень очищення води, за рахунок якої здійснюється забезпечення господарчо-питних проблем населення, є надзвичайно низьким. Існуючі очисні споруди навіть при біологічному очищенні вилучають лише 10–40% неорганічних речовин (40% – азоту, 30% – фосфору, 20% – калію) і практично не вилучають сполуки важких металів. Найбільш забрудненими є річки Південний Буг та Інгулець, а також поверхневі водойми Донецької і Дніпропетровської областей та Чорноморського узбережжя півдня України. Найбільшими забруднювачами водних ресурсів нашої держави є підприємства гірничо-металургійного комплексу Донецько-Придніпровського регіону, частиною якого є Дніпропетровська область. У середньому в межах Дніпропетровської області на душу населення на рік припадає 0,57 тис. м³ прісної води, у той час як у розвинених країнах Європи цей показник становить 4,6 тис. м³ (Пашков, 2011).

Як зазначає В.М. Шестопапов зі співавт. (Шестопапов та ін., 2018), крім незадовільного сучасного екологічного стану, поверхневі джерела є вкрай вразливими у разі виникнення надзвичайних ситуацій природного чи техногенного походження. Підтвердженням цьому слугує катастрофа на Каховській ГЕС, що відбулася 6 червня 2023 року. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розбудова альтернативних джерел водопостачання населення України за рахунок захищених від прямих надходжень забруднювальних речовин підземних вод, які характеризуються стабільним у часі хімічним складом, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками.

Об'єктом представленого дослідження є ґрунтові води Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області, які приурочені до середньо- і верхньочетвертинних лесових суглинків (Q_{2-3}). Предметом дослідження є особливості хімічного складу ґрунтових вод, що використовуються для забез-

печення господарсько-питних потреб місцевого населення. Автори статті ставили за мету дослідити хімічний склад досліджуваних підземних вод, оцінити їх якість та придатність для питного використання, окреслити коло ризиків для здоров'я місцевих мешканців-споживачів води, а також з'ясувати причини змін хімічного складу за 42 роки експлуатації (з 1978 до 2020 року).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

При виконанні роботи було використано широкий спектр методів отримання, обробки та інтерпретації еколого-гідрогеохімічних даних, зокрема польові, хіміко-аналітичні, порівняльні, графічні. Для натурних гідрохімічних вимірювань зразків води використовувались портативний прилад AZ-8603. Досліджувані показники хімічного складу підземних вод вимірювалися за діючими міжнародними стандартами (ISO). Кислотність, загальну жорсткість та вміст хлоридів визначено титруванням. Концентрації важких металів визначалися за допомогою атомно-абсорбційного методу. Для показників загальної жорсткості, концентрацій сульфатів та хлоридів відносна похибка d становила 15–20%, для решти показників – 10–15%. При обробці отриманих даних використовувалися математико-статистичні методи. Візуалізація загального хімічного складу досліджуваних вод виконувалася за допомогою спеціалізованого програмного засобу GW_Chart.

Геологічна будова досліджуваної території. У структурно-геологічному плані Саксагансько-Сурський рудний район знаходиться в південно-західній частині Українського щита (УЩ). В основі геологічного розрізу території залягають породи кристалічного фундаменту, представлені гранітоїдами, переважно мігматитами (AR_2), що залягають на глибинах 70–80 м. У верхній частині кристалічних порід розвинута кора вивітрювання, яка представлена глинистими каолінами потужністю, головним чином, від 1 до 10 м, досягаючи максимального значення у 42 м (лінійна кора вивітрювання). Глибина залягання каоліну кори вивітрювання становить, переважно, 69–77 м (Верховцев та ін., 2020). Схематична геологічна карта нижнього структурного поверху з позначенням точок пробовідбору зразків води, складена авторами за (Сукач та ін., 2006), представлена на рис. 1.

Верхній структурний поверх складають осадові відклади палеогену, неогену і четвертинної системи. Палеогенові відклади поширені в палеодепресіях, неогенові і четвертинні покривають усю площу. Палеогенові осадові утворення залягають на корі вивітрювання кристалічних порід і представлені піщаними, вуглистими, глинистими відкладами бучацького ярусу (P_2 bс), до яких приурочені локальні поклади уранової руди; перекриваються піщано-глинистими відкладами неогену і четвертинного віку.

В основі розрізу бучацької товщі залягають піски, що вміщують прошарки бурого вугілля, вуглистих глин і алевритів. Завершують розріз вуглисті глини і вторинні каоліни. Продуктивний на уран (рудний) горизонт являє собою пере-

шарування пісків, глин, бурого вугілля, вторинного каоліну і порід змішаного складу, які є перехідними між основними літологічними типами (глинисто-піщаними, піщано-каоліністими).

Неогенові відклади представлені полтавською світою і сарматським ярусом міоцену. Морські осади полтавської світи (N_{pl}) перекривають бучацькі відклади палеогену і представлені дрібно-, середньозернистими пісками з прошарками пісковиків. Потужність товщі полтавських пісків становить 25–28 м. Глибина їх залягання від поверхні 40–42 м.

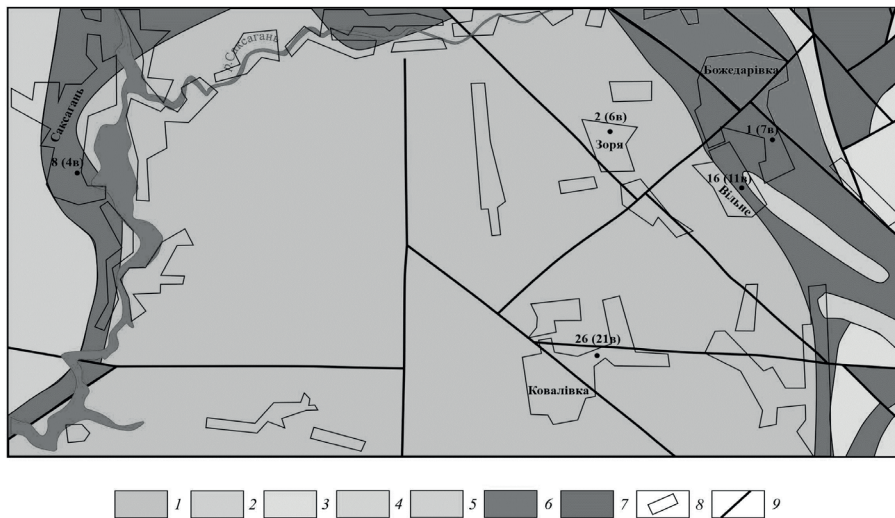


Рис. 1. Схематична геологічна карта нижнього структурного поверху території досліджень з позначенням точок пробовідбору зразків води (складена авторами за (Сукач та ін., 2006)):

- 1 – демушинський комплекс (граніти дрібнозернисті біотитові, порфіробластичні),
- 2 – саксаганський комплекс (плагіограніти і плагіомігматити), 3 – сурський комплекс (плагіограніти), 4 – теплівська товща (джеспіліти хлорит-карбонат-магнетитові, кумінгтоніт-хлорит-магнетитові, сланці кварц-серицит-хлоритові та карбонат-кварц-хлоритові), 5 – варварівський комплекс (серпентиніти), 6 – михайлівська світа білозерської серії (сланці філітовидні кварц-(серицит)-(біотит)-хлоритові, метапісковики, прошарки магнетит-(карбонат)-(амфібол)-хлоритових кварцитів, 7 – сурська світа конкської серії (метабазальти, метадолерит-базальти, сланці актинолітові, хлорит-актинолітові), 8 – кордони населених пунктів, 9 – розривні порушення

Відклади сарматського ярусу (N_s) представлені сірими, зеленувато-сірими, строкатими глинами з прошарками піску, що залягають на глибинах 29–33 м. Потужність шару сарматських глин складає 8–11 м. Глини сарматського ярусу покриті нерозчленованими верхньонеогеновими і нижньочетвертинними відкладами (N_2-Q_1), що представлені товщею червоно-бурих, темно-бурих глин і суглинків потужністю 14–18 м. З денної поверхні і до глибини 15 м поширені середньо- і верхньочетвертинні лесові суглинки (Q_{2-3}), які покриті сучасним ґрунтово-рослинним шаром (Q_4). Ґрунтово-рослинний шар представлений

чорноземом звичайним мало гумусним потужністю від 0,5 м до 1 м (Верховцев та ін., 2020).

Водні ресурси. За сучасним гідрографічним районуванням території України досліджувана територія розташована у Нижньобузько-Дніпровській області недостатньої водності Зони недостатньої водності рівнинної частини України. Загалом Дніпропетровська область повністю розташована в межах басейну Дніпра. Середня щільність річкової мережі становить – 0,27 км/км², забезпеченість водними ресурсами складає 460 тис. м³/км² площі, проте на місцевий стік припадає лише 20 тис. м³/км² (Верховцев та ін., 2020). Річки Дніпропетровської області відзначаються значним рівнем забруднення. Для вод Дніпра та Самари характерний високий вміст (з перевищенням гранично допустимих концентрацій) сульфатів, сульфідів, оксидів заліза та важких металів внаслідок інтенсивних промислових скидів. Малі річки регіону більш забруднені сільськогосподарськими стоками, внаслідок чого спостерігається підвищений вміст йонів амонію та нітратів. В майбутньому область може зазнавати вододефіциту, оскільки існуючі можливості збільшення водоспоживання практично вичерпані, а збільшення обсягів забору води з Дніпра загрожує як екологічному стану річки, так і функціонуванню господарського комплексу місцевостей, розташованих нижче за течією. За даними (Екологічний..., 2020), в середній за водністю рік водні ресурси у Дніпропетровській області становлять 52,8 млрд м³, з них на підземні води припадає 0,381 млрд м³. Якщо відслідкувати динаміку використання підземних вод у Дніпропетровській області протягом 2017–2019 років, то тенденція до збільшення водоспоживання не спостерігається: 2017 рік – 142,2 млн м³, 2018 рік – 128,5 млн м³, 2019 рік – 144,8 млн м³. Водночас спостерігається скорочення обсягів скидання забруднених зворотних вод у підземні водоносні горизонти: 2017 рік – 0,435 млн м³, 2018 рік – 0,563 млн м³, 2019 рік – 0,153 млн м³.

Згідно сучасного гідрогеологічного районування (Шестопапов та ін., 2019), підземні води досліджуваної території належать до водоносної системи Українського щита, що охоплює території Житомирської, Вінницької, Кіровоградської, і частково – Рівненської, Хмельницької, Київської, Дніпропетровської, Черкаської, Одеської, Миколаївської, Запорізької та Донецької областей. Територія поширення Українського щита є найменш водозбагаченим регіоном нашої держави. Із загальних прогнозних ресурсів підземних вод України цій водоносній системі належить лише 7,2%. Більшу частину складають ресурси підземних вод у зоні тріщинуватості кристалічних порід археопротерозою (1164,7 тис. м³/добу), решта – у відкладах палеогену (1130,7 тис. м³/добу), а також у четвертинних (981,5 тис. м³/добу), неогенових (702,4 тис. м³/добу), крейдових (435,2 тис. м³/добу) і юрських відкладах (12,0 тис. м³/добу) (Стан..., 2021).

У гідрогеологічному розрізі цієї водоносної системи виділяють два структурні поверхи (Шестопапов та ін., 2019). Нижній поверх складений метамор-

фізованими дислокованими породами магматичних і метаморфічних утворень архею-протерозою, верхній – осадовими відкладами мезо-кайнозою. Кора вивітрювання кристалічних порід безпосередньо визначає умови їхнього взаємозв'язку з водоносними горизонтами і комплексами осадових відкладів, що залягають вище та, відповідно, умови живлення (Кошлякова та ін., 2022). Водоносні горизонти верхнього структурного поверху в осадових відкладах, що вирізняються невтриманими поширенням і потужністю, найчастіше приурочені до вододільних ділянок і розмиті в долинах річок (Шерстюк, Носова, 2016). За відсутності витриманих у розрізі слабопроникних відкладів, між водоносними горизонтами є гідравлічний зв'язок. Водовмісні породи представлені переважно пісками, меншою мірою, вапняками, мергельно-крейдяними відкладами, пісковиками з доволі низькими фільтраційними властивостями. Порові й порово-тріщинні води приурочені тут до порівняно малопотужних осадових порід мезо-кайнозою, які плащоподібно залягають на еродованій поверхні кристалічного фундаменту. Ці води переважно є безнапірними і слабонапірними.

Досліджені авторами статті ґрунтові води приурочені до середньо- і верхньочетвертинних лесових суглинків (Q_{2-3}) і активно використовуються мешканцями сіл Божедарівка, Зоря, Вільне, Саксагань, Ковалівка, Новогурівка та Новожитлівка для забезпечення господарсько-питних потреб. Глибина колодязів, з яких відбираються підземні води, становить, в середньому 6–8 м.

Варто відмітити, що лесовидні суглинки містять велику кількість легкорозчинних солей, тому для ґрунтових вод, що формуються в них, характерною є підвищена мінералізація у порівнянні з підземними водами, приуроченими до більш глибоких, неогенових та архей-протерозойських відкладів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

При виконанні польових робіт в межах досліджуваної території у 2020 році співробітниками відділу мінеральної сировини ядерної енергетики Державної установи «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» було обстежено 5 колодязів, що експлуатують ґрунтові води, приурочені до середньо- і верхньочетвертинних лесових суглинків (Q_{2-3}) і використовуються мешканцями сіл Божедарівка, Зоря, Вільне, Саксагань та Ковалівка для забезпечення господарсько-питних потреб (рис. 1).

На першому етапі дослідження авторами статті було виконано порівняння основних показників якості хімічного складу ґрунтових вод станом на 2020 рік (за медіанними значеннями) з величинами гранично допустимих концентрацій (ГДК) згідно вітчизняних нормативних документів та вимог Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), а також встановлено клас якості води (табл. 1).

Таблиця 1

**Хімічний склад досліджуваних підземних вод станом на 2020 рік
(за медіанними значеннями)**

Найменування показника	Значення показника	Гранично допустима концентрація (ГДК) за ДСТУ 7525:2014*	Гранично допустима концентрація (ГДК) за ВООЗ**	Клас якості води за ДСТУ 4808:2007***	ДСанПіН 2.2.4-171-10
Мінералізація, г/дм ³	1,4	1	1	3	
Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	11,2	7	–	4	10
pH	7,5	6,5–8,5	6,5–8,5	2	6,5–8,5
Cl, мг/дм ³	227	250	250	1	350
SO ₄ , мг/дм ³	540	250	250	4	500
HCO ₃ , мг/дм ³	8	–	–	–	–
Ca, мг/дм ³	175	130	–	–	–
Mg, мг/дм ³	117	80	–	4	–
Na+K сумарно, мг/дм ³	413	≈92	–	–	–
Mn, мг/дм ³	0,027	0,05	0,08	1	–
Ni, мг/дм ³	0,038	0,02	0,07	2	–
Pb, мг/дм ³	0,06	0,01	0,01	3	–
Zn, мг/дм ³	0,047	–	3	1	–

Примітка. Загальна кількість зразків – 5.

* ДСТУ 7525:2014 Державний стандарт України «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості»

** Всесвітня організація охорони здоров'я (Guidelines..., 2022)

*** ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання»

За своїм хімічним складом досліджувані ґрунтові води є хлоридно-сульфатними магнієво-натрієвими, що проілюстровано формулою Курлова:

$$M_{1,4} \frac{SO_4 63 Cl 36}{Na 49 Mg 27 Ca 24} pH 7,5$$

Автори виконували порівняння показників хімічного складу досліджуваних підземних вод за ДСТУ 7525:2014, адже він нормує ширший спектр показників для води нецентралізованого питного водопостачання, однак варто відмітити, що для оцінки в даному випадку найкраще підходить документ ДСанПіН 2.2.4–171–10, адже у ньому окремо розроблені ГДК для води з колодязів та каптажів джерел, що відповідає водозабірним спорудам, які розглядаються у статті. Таким чином, згідно ДСанПіН 2.2.4–171–10 зафіксовано перевищення нормативних значень виключно за сульфатами. Згідно ДСТУ 7525:2014, станом на 2020 рік фіксується перевищення ГДК за мінералізацією (на 40%), загальною жорсткістю (на 60%), концентраціями кальцію (на 35%), нікелю (майже удвічі), свинцю (у шість разів), а також вмістом сульфатів (більш, ніж удвічі). Варто відмітити, що перевищення ГДК за нікелем згідно вітчизняного нормативного документу не є критичним, оскільки максимально допустима його концентрація згідно ВООЗ становить $0,07 \text{ мг/дм}^3$. Така ж ситуація і з цинком, граничне значення для якого у питній воді згідно ВООЗ є досить високим – 3 мг/дм^3 .

Оскільки досліджувані підземні води активно використовуються місцевим населенням для задоволення питних потреб, їх якість оцінювалася згідно вітчизняного нормативного документу ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання». Цей документ передбачає виконання оцінки якості підземних вод – джерел питного водопостачання – за гігієнічними та екологічними критеріями. При виконанні лабораторних досліджень було охоплено не повний спектр показників хімічного складу води, тому оцінку її якості було виконано за блоком II загальносанітарних хімічних і блоком VII токсикологічних показників, а також за узагальненим індексом.

Таким чином, результати оцінки якості води за блоком загально санітарних хімічних показників характеризували досліджені підземні води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{II \text{ сер.}} = 2,83$, клас 3, підклас 3(2)) як «задовільні», слабо забруднені води з ухилом до класу «доброї», чистої води.

За блоком токсикологічних показників хімічного складу досліджені підземні води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{VII \text{ сер.}} = 1,75$, клас 2, підклас 1–2) характеризуються як перехідні за якістю від «відмінної» дуже чистої до «доброї», чистої води.

За узагальненим інтегральним індексом якості води $I_{\text{інтегр. сер.}} = 2,29$, клас 3, підклас 2(3)) досліджені підземні води оцінюються як «добрі», чисті води з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої води прийнятної якості.

З метою виконання деталізованого порівняльного аналізу макрокомпонентного складу та вмісту окремих мікроелементів у ґрунтових водах, відібраних з колодязів обстежених населених пунктів Саксагансько-Сурського рудного району у 2020 році, було побудовано діаграму Пайпера (рис. 2) та графіки вмісту важких металів (рис. 3).

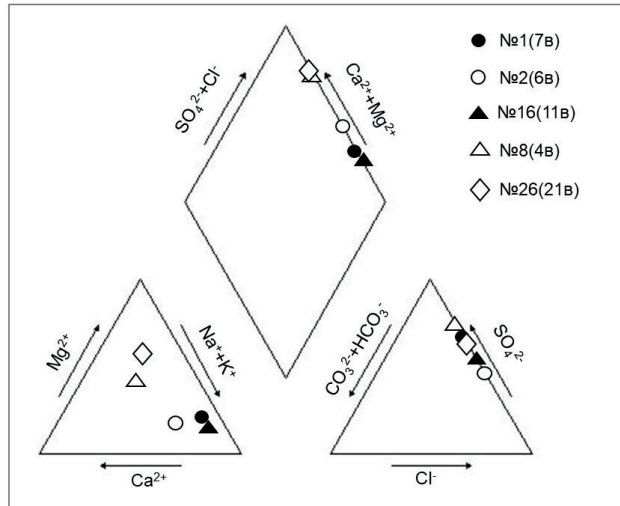


Рис. 2. Діаграма Пайпера, що відображає макрокомпонентний склад досліджуваних підземних вод станом на 2020 рік:

№ 1 (7в) – колодязь у с. Божедарівка, № 2 (6в) – колодязь у с. Зоря,

№ 16 (11в) – колодязь у с. Вільне, № 8 (4в) – колодязь у с. Саксагань,

№ 26 (21в) – колодязь у с. Ковалівка

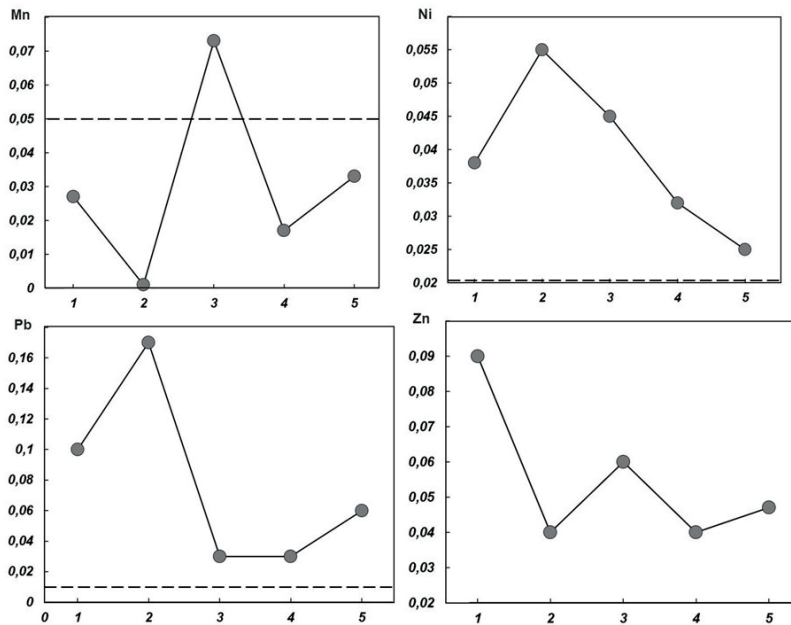


Рис. 3. Графіки вмісту (mg/dm^3) мікроелементів у досліджуваних підземних водах станом на 2020 рік: 1 – колодязь № 1 (7в) у с. Божедарівка, 2 – колодязь № 2 (6в) у с. Зоря, 3 – колодязь № 16 (11в) у с. Вільне, 4 – колодязь № 8 (4в) у с. Саксагань, 5 – колодязь № 26 (21в) у с. Ковалівка, штрих пунктиром позначена величина гранично допустимої концентрації згідно ДСТУ 7525:2014

Серед п'яти обстежених населених пунктів за величиною загальної мінералізації найгірші показники зафіксовано у с. Зоря (2,4 г/дм³). Натомість найменша мінералізація (1,2 г/дм³) ґрунтових вод характерна для с. Саксагань.

За величиною загальної жорсткості найвищий показник у с. Ковалівка (15,57 ммоль/дм³). У той самий час для сіл Божедарівка та Вільне цей показник нижчий за ГДК – 4 ммоль/дм³. Відповідно, за цим показником вода в населених пунктах є цілком придатною для питного водоспоживання.

За вмістом сульфатів найвища концентрація характерна для с. Зоря (680 мг/дм³). У решти населених пунктів цей показник також суттєво перевищує допустимі норми.

Найгірші значення за вмістом кальцію у досліджуваних водах також припадає на с. Зоря (262 мг/дм³). Натомість для сіл Божедарівка та Вільне цей показник нижчий за ГДК, і становить 50 мг/дм³. Таким чином, за цим показником вода в згаданих населених пунктах відповідає нормативам щодо питного водоспоживання.

Стосовно вмісту важких металів, найвищі концентрації нікелю фіксуються у с. Зоря (0,06 мг/дм³), а свинцю – у с. Зоря та с. Божедарівка (на рівні 0,1 мг/дм³, що на порядок перевищує максимально допустиму концентрацію для питної води).

На наступному етапі дослідження було виконано порівняльний аналіз хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод станом на 2020 рік з гідрогеохімічними даними, отриманими у 1978 році під час проведення геолого-розідувальних робіт, які здійснювалися Дніпропетровською КГРЕ тресту «Дніпрогеологія» при виконанні досліджень хімічного і радіаційного стану підземних вод на території, прилеглої до Новогурівської ділянки уранових руд. Зразки води було відібрано з колодязів мешканців сіл Новогурівка, Новожитлівка та Зоря.

Порівнювалися такі показники хімічного складу підземних вод, як мінералізація, загальна жорсткість, вміст сульфатів та хлоридів. Вибірка даних з результатами хімічного аналізу води за 1978 рік охоплює 55 значень, за 2020 рік – 5 значень. Було побудовано гістограми розподілу вказаних показників на два періоди часу (рис. 4). Отримані результати дали змогу оцінити трансформацію хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод за 42 роки експлуатації.

Було встановлено наступні закономірності:

Мінералізація. Показник зменшився за медіанними значеннями з 2,9 г/дм³ до 1,4 г/дм³. Максимальні величини також суттєво зменшилися з 12,5 г/дм³ до 2,4 г/дм³.

Загальна жорсткість. Показник зменшився за медіанними значеннями з 27 ммоль/дм³ до 11,2 ммоль/дм³. Максимальні величини також суттєво зменшилися з 97 ммоль/дм³ до 5,6 ммоль/дм³.

Сульфати. Вміст зменшився за медіанними значеннями з 1096 мг/дм³ до 540 мг/дм³. Максимальні величини також суттєво зменшилися з 5963 мг/дм³ до 680 мг/дм³.

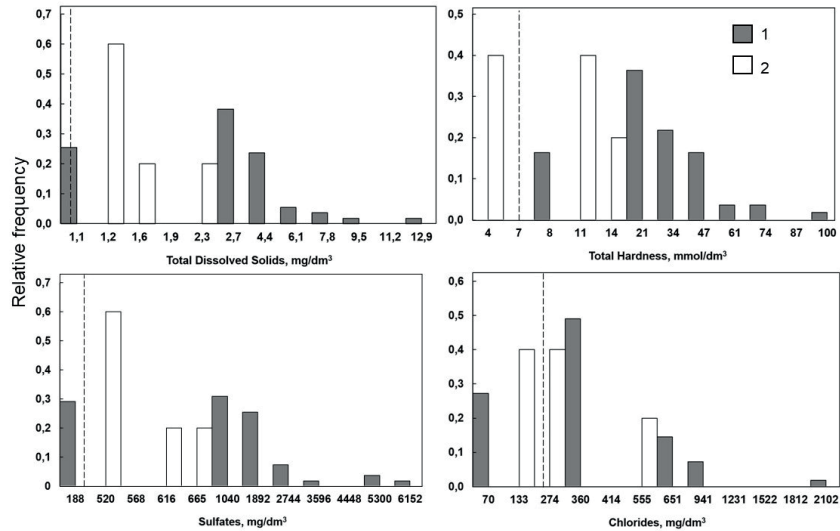


Рис. 4. Гістограми розподілу окремих показників макрокомпонентного складу досліджуваних підземних вод: 1 – станом на 1978 рік, 2 – станом на 2020 рік, штрих пунктиром позначена величина гранично допустимої концентрації згідно ДСТУ 7525:2014

Хлориди. Концентрація зменшилася за медіанними значеннями з 324 мг/дм³ до 227 мг/дм³. Максимальні величини суттєво зменшилися з 2038 мг/дм³ до 600 мг/дм³.

Проведений порівняльний аналіз, побудови та розрахунки дозволили виявити наступне. За 42 роки експлуатації хімічний склад досліджуваних ґрунтових вод значно покращився за окремими показниками. Проте, незважаючи на це, вони досі не відповідають вимогам нормативних документів щодо якості питної води, а їх регулярне вживання місцевими мешканцями для задоволення господарсько-питних потреб несе загрозу для їх здоров'я. Варто також відмітити, що різночасові вибірки, які порівнювалися, містять суттєво різну кількість даних. Крім того, лабораторні методи аналізу, які використовувалися у 1978 році, мали іншу точність та похибку, ніж у 2020 році. Однак попри це отримані результати дають змогу відстежити загальну закономірність щодо відновлення стану ресурсів досліджуваних ґрунтових вод до природнього. Ймовірно це пов'язано зі зменшенням рівня техногенного навантаження на водне середовище за ці роки через значний спад темпів промислового освоєння уранових та залізних руд в межах Дніпропетровської області загалом і Саксагансько-Сурського рудного району зокрема.

Проаналізувавши результати обрахунків гідрохімічних даних, автори змогли виявити ознаки метаморфізації хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод. Зокрема, підвищені у порівнянні з фоновими величинами показники мінералізації, загальної жорсткості, концентрацій кальцію, нікелю свинцю та

сульфатів, на думку авторів, можуть бути пов'язані більшою мірою не з техногенними факторами, а природними умовами території дослідження, що узгоджується з результатами, отриманими іншими авторами, що досліджували підземні води даного регіону. Зокрема, за даними (Шерстюк, Носова, 2016) високий вміст сульфатів у ґрунтових водах може бути пов'язаний з перетіканням води із суміжного водоносного горизонту, приуроченого до неогенових відкладів (N_{pl}), а хлоридний тип підземних вод зумовлений надходженням хлоридних вод з р. Саксагань, що характеризується високим ступенем забруднення через скидання в неї стічних вод підприємств металургійно-гірничої галузі.

Автори представленої статті вважають, що у подальшому необхідно також враховувати структурно-геологічні особливості кристалічного фундаменту. Адже окрім звичайних гранітів в районі досліджень поширені також метаморфічні породи. Різний хімічний склад цих порід, і, як наслідок, продуктів їх вивітрювання, може по-різному впливати на стан довкілля, особливо по розривних порушеннях. Як видно з карти кристалічного фундаменту (рис. 1), метаморфічні породи формують чітку зону з заходу на схід через північний район. На жаль мала вибірка зразків води не дає змоги побудувати чітку карту розповсюдження забруднення і зробити кореляцію. Проте у перспективі, якщо згустити мережу відбору проб, то можна буде зробити висновки щодо впливу на підземні води таких факторів, як наявність тектонічних порушень та продуктів вивітрювання кристалічних порід.

ВИСНОВКИ

У результаті проведеного дослідження було з'ясовано, що ґрунтові води Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області, приурочені до середньо- і верхньочетвертинних лесових суглинків (Q_{2-3}) є хлоридно-сульфатними магнієво-натрієвими та за узагальненим інтегральним індексом якості води оцінюються як «добрі», чисті води з ухилом до класу «задовільної», слабо забрудненої води прийнятної якості.

Натомість ці води не відповідають вимогам вітчизняних нормативних документів, а також нормам, встановлених ВООЗ для питної води, за окремими показниками: мінералізація, загальна жорсткість, вміст кальцію, свинцю та сульфатів.

Серед усіх обстежених населених пунктів найскладніші гідрохімічні умови спостерігаються у с. Зоря. У зразках води з цього населеного пункту найвищі показники мінералізації, вмісту сульфатів, кальцію та важких металів (нікелю і свинцю).

Порівняльний аналіз, виконаний для двох різночасових вибірок гідрохімічних даних за основними показниками хімічного складу підземних вод дав змогу виконати оцінку трансформації досліджуваних ґрунтових вод за 42 роки експлуатації.

Було виявлено, що якість досліджуваних ґрунтових вод значно покращилася, що є свідченням відновлення їх стану до природнього. Ймовірно це пов'язано зі зменшенням рівня техногенного навантаження на водне середовище за ці роки через значний спад темпів промислового освоєння уранових та залізних руд в межах Дніпропетровської області загалом і Саксагансько-Сурського рудного району зокрема. Попри це досліджені води і досі не відповідають вимогам вітчизняних нормативних документів щодо якості питної води. Їх регулярне споживання місцевими мешканцями для задоволення господарсько-питних потреб несе загрозу для здоров'я. Особливе занепокоєння викликає високий вміст свинцю (ушестеро перевищує ГДК).

Таким чином, навіть за умов поступового відновлення хімічного складу досліджених ґрунтових вод до природнього стану та скорочення обсягів скидання забруднених зворотних вод у підземні водоносні горизонти, масштаби техногенного забруднення сполуками важких металів все ще є надзвичайно високими, що зумовлює потребу у негайному втручанні місцевої влади та державних органів нагляду з природокористування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Верховцев В. Г., Тищенко Ю. Є., Фаррахов О. В. та ін. Підприємство по відпрацюванню Новогурівської ділянки уранових руд способом підземного свердловинного вилуговування // *Звіт з оцінки впливу на довкілля*. Київ, 2020. 390 с.

Екологічний паспорт Дніпропетровської області за 2019 рік URL: www.adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/60e/d38/c15/60ed38c15a69f512978009.pdf (дата звернення 12.06.2023) – Назва з екрана.

Кошлякова Т., Курасва І., Кошляков О., Олексенко Л., Швайка І., Проскурка Л. Мікроелементний склад питних підземних вод на території Коростишівського району Житомирської області у системі гідрогеохімічного моніторингу // *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія*. 2022. № 2 (97). С. 85–91. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.11>.

Пашков А. П. Проблеми забруднення поверхневих, підземних і стічних вод та заходи щодо їх ліквідації і запобігання в Україні // *Безпека життєдіяльності*. 2011. № 4. С. 10–16.

Стан підземних вод. Щорічник. Державна служба геології та надр України, ДНВП «Державний інформаційний геологічний фонд України». Київ, 2021. 124 с.

Сукач В. В., Ісаков Л. В., Курочка О. О. та ін. Геолого-формаційне вивчення фундаменту зеленокам'яних структур Середньопридніпровського геоблоку УЩ // *Науковий звіт*. Дніпропетровськ, 2006. 270 с.

Шерстюк Н. П., Носова Л. О. Аналіз хімічного складу підземних вод водоносних горизонтів четвертинних відкладів території Північного гірничо-збагачувального комбінату (Кривбас) // *Вісник Дніпропетровського університету. Серія: геологія, географія*. 2016. № 1(24). С. 151–157. <https://doi.org/10.15421/111623>.

Шестопалов В. М., Лютий Г. Г., Саніна І. В. Сучасні підходи до гідрогеологічного районування України // *Мінеральні ресурси України*. 2019. № 2. С. 3–12. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12>.

Шестопалов В. М., Стеценко Б. Д., Руденко Ю. Ф. Підземні води тріщинуватих кристалічних порід як резервне джерело питного водозабезпечення Вінниці (Україна) // *Геологічний журнал*. 2018. № 1 (362). С. 5–16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126414>.

Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization. 2022. 614 p. [Електронний ресурс]: [Веб-сайт]. – Електронні дані. – Режим доступу: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064> (дата звернення 12.06.2023) – Назва з екрана.

REFERENCES

Verkhovtsev, V.G., Tyshchenko, Yu. Ye., Farrakhov, O.V. et al. (2020). Pidpryiemstvo po vidpratsiuvanni Novohurivskoi dilianky uranovykh rud sposobom pidzemnoho sverdlvynnoho vyluhovuvannia. (The enterprise

for the development of the Novogurivsk site of uranium ores by the method of underground well leaching). Environmental impact assessment report. Kyiv, 390 p. [in Ukrainian].

Ekolohichnyi pasport Dnipropetrovskoi oblasti za 2019 rik. (2019). (Environmental passport of the Dnipropetrovsk region for 2019). URL: www.adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/60e/d38/c15/60ed38c15a69f512978009.pdf. [in Ukrainian].

Koshliakova, T., Kuraieva, I., Koshliakov, O., Oleksenko L., Shvaika I., Proskurka L. (2022). Mikroelementnyi sklad pytnykh pidzemnykh vod na terytorii Korostyshivskoho raionu Zhytomyrskoi oblasti u systemi hidroheokhimichnoho monitorynhu (Microelement composition of potable groundwater in Korostyshiv district of Zhytomyr region in hydrogeochemical monitoring system). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*. 2022. Vol. 2 (97). P. 85–91. <https://doi.org/10.17721/1728-2713.97.11>. [in Ukrainian].

Pashkov, A.P. (2011). Problemy zabrudnennia poverkhnivykh, pidzemnykh i stichnykh vod ta zakhody shchodo yikh likvidatsii i zapobihannia v Ukraini. (Problems of surface, underground and wastewater pollution and measures for their elimination and prevention in Ukraine). *Bezpeka zhyttiedialnosti*. 2011. Vol. 4. P. 10–16. [in Ukrainian].

The state of groundwater. Yearbook. (2021). Ukrainian Geological Survey, «State Information Geological Fund of Ukraine». Kyiv, 124 p. [in Ukrainian].

Sukach, V.V., Isakov, L.V., Kurochka, O.O. et al. (2006). Heoloho-formatsiine vyvchennia fundamentu zelenokam'ianykh struktur Serednoprydniprovskoho heobloku UShch. (Geological and formational study of the foundation of greenstone structures of the Middle Dnieper geoblock of the Ukrainian Shield). Scientific Report. Dnipropetrovsk, 270 p. [in Ukrainian].

Sherstuk, N.P., Nosova, L.A. (2016). Analiz khimichnoho skladu pidzemnykh vod vodonosnykh horizontiv chetvertynnykh vidkladiv terytorii Pivnichnoho hirnycho-zbahachuvalnoho kombinatu (Kryvbas). (Analysis of the chemical composition of the groundwater aquifers of Quaternary sediments of the Northern mining and processing plant (Kryvbas)). *Dnipropetrovsk University Bulletin. Series geology, geography*. 2016. Vol. 1 (24). P. 151–157. <https://doi.org/10.15421/111623>. [in Ukrainian].

Shestopalov, V.M., Lyutyi, G.G., Sanina, I.V. (2019). Suchasni pidkhody do hidroheolohichnoho raionuvannia Ukrainy. (Modern approaches to hydrogeological zoning of Ukraine). *Mineral resources of Ukraine*. 2019. Volume 2, P. 3–12. <https://doi.org/10.31996/mru.2019.2.3-12>. [in Ukrainian].

Shestopalov, V.M., Stetsenko, B.D., Rudenko, Yu.F. (2018). Pidzemni vody trishchynuvatykh krystalichnykh porid yak rezervne dzherelo pytnoho vodozabezpechennia Vinnytsi (Ukraina). (Groundwater of fractured crystalline rock as reserve source for potable water supply to Vinnytsia (Ukraine)). *Geological journal*. 2018. Vol. 1 (362). P. 5–16. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.1.126414>. [in Ukrainian].

Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. (2022). Geneva: World Health Organization. 2022. 614 p. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240045064>.

Надійшла 15.10.2023 р.

T. O. Koshliakova¹

tatianakoshliakova@gmail.com,

V. G. Verkhovtsev²

verkhovtsev@ukr.net,

Eu. S. Lunov¹

lunov_00@ukr.net,

Yu. Ye. Tyshchenko²

u-risk@ukr.net,

V. V. Shkapenko²

shkapenko.viktoriya@gmail.com,

¹M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Akad. Palladina Ave., 34, Kyiv-142, 03142, Ukraine,

²State Institution «The Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine», Akad. Palladina Ave., 34a, Kyiv-142, 03142, Ukraine

PECULIARITIES OF THE GROUNDWATER CHEMICAL COMPOSITION WITHIN THE SAKSAGANSK-SURSK ORE DISTRICT OF THE DNIPROPETROVSK REGION

Abstract

The purpose of the research: to study the groundwaters in the Saksagansk-Sursk ore district of the Dnipropetrovsk region, which are used to ensure the economic and drinking needs of the local population.

Data and Methods: A wide range of methods of obtaining, processing and interpreting of ecological-hydrogeochemical data, including field, chemical-analytical, comparative and graphical, were used. Mathematical and statistical methods were used in the processing of the obtained data. Visualization of the general chemical composition was performed with the help of specialized software tool GW_Chart.

Results. The chemical composition of underground waters was studied, an assessment of their quality and suitability for potable use was made, the range of risks for the health of local residents-consumers of water was outlined, and the rationale for possible reasons for changes in their chemical composition during 42 years of operation (from 1978 to 2020) was provided.

During the research, the authors found signs of metamorphosis of the chemical composition of groundwater. On the other hand, in the multi-year section, a general regularity was observed regarding the restoration of the state of the studied waters resources to the natural one, which is probably related to the decrease in the level of man-made load on the water environment over 42 years due to a significant decline in the rate of industrial development of uranium and iron ores within the Dnipropetrovsk region in general and the Saksagansk-Sursk ore district in particular. A preliminary conclusion was obtained that the ecological-hydrogeochemical conditions of the studied groundwater are primarily determined by: insignificant occurrences of water-bearing rocks (up to their emergence to the surface), close

hydraulic connection with surface waters and adjacent aquifers, weak protection against surface pollution due to the lack of regionally sustained confining bed in its roof, the chemical composition of water-bearing rocks, as well as the tectonic conditions of the territory.

The authors consider it necessary in further research to take into account the structural and geological features of the crystalline foundation of the studied area in connection with the spread of a wide range of metamorphic rocks and their weathering products, as well as the presence of tectonic faults within the first structural floor.

Key words: groundwater, potable water quality, chemical composition, aquifer system, Ukrainian Shield.