

Ольга ТЕЛЕГУЗ, Галина МЕДВІДЬ, Василь ГАРАСИМЧУК

Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів, Україна,
e-mail: olga_teleguz@ukr.net

ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ГЕОХІМІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТОВИХ ВОД БОРИСЛАВСЬКО-ПОКУТСЬКОЇ ЗОНИ ПЕРЕДКАРПАТСЬКОГО ПРОГИНУ

Представлено результати аналітичних визначень 35 проб вод із неглибоких колодязів і свердловин, які населення використовує для господарсько-питних потреб. Встановлено, що склад досліджуваних вод змінюється від гідрокарбонатних кальцієвих до хлоридних кальцієво-натрієвих. Статистичний аналіз даних вмісту макроелементів у ґрунтових водах показав аномальний характер варіювання для концентрацій хлору, вмісту натрію і калію, мінералізації і магнію. З'ясовано, що основними процесами, які впливають на геохімічний склад ґрунтових вод є взаємодія вода–порода, антропогенний вплив та випаровування. Встановлено перевищення нормативів санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води за загальною жорсткістю, перманганатною окиснюваністю, вмістом хлоридів, загальним вмістом солей і нітратів. Невідповідність нормативів фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води фіксується за вмістом кальцію, калію, натрію, загальним вмістом солей, загальною жорсткістю, лужністю і за вмістом магнію, що робить їх обмежено придатними до споживання людиною. У більшості проб відхилення від нормативних величин для досліджуваних показників не спостерігається.

Ключові слова: ґрунтові води, макрокомпонентний склад, еколого-геохімічні показники, якість вод, нафтогазоносний район.

Вступ. В Україні ґрунтові води є основним джерелом питного водопостачання сільської місцевості, їхній водовідбір здійснюють за допомогою неглибоких колодязів та свердловин. Ґрунтові води відіграють надзвичайно важливу роль у природних екосистемах та для життя людей і є своєрідним індикатором екологічного стану середовища регіону. Вони є джерелом питної води для мільярдів людей у світі та використовуються в сільському господарстві, промисловості та інших цілях. Сьогодні питні підземні води є найціннішим природним ресурсом, а їхнє збереження і забезпечення якісного стану – передумовою сталого розвитку для усіх країн світу.

Ґрунтові води – це гравітаційні підземні води першого від поверхні постійного водоносного горизонту, який залягає на першому водонепроникному

шарі. Зверху вони зазвичай не перекриті водонепроникними породами, а водовмісний пласт заповнюють не на всю потужність. Горизонт цих вод формується інфільтраційними атмосферними опадами, а також водою, що проникає із поверхневих водних об'єктів. Глибина їхнього залягання, режим та іонно-сольовий склад зумовлені особливостями рельєфу, клімату, ґрунтового та рослинного покривів, а також специфікою антропогенного навантаження. Цей горизонт безнапірний, а рух вод спрямований від вододілів до дренавальних понижень.

Постановка проблеми. Оскільки основним джерелом водопостачання сільського населення є підземні води першого від поверхні водоносного горизонту, який недостатньо захищений від проникнення забруднень, дослідження геохімічних характеристик ґрунтових вод, встановлення їхньої відповідності цільовому призначенню й екологічним нормативам, інформування про стан вод та забезпечення населення якісною водою нині є надзвичайно актуальним. Статтю присвячено вивченню умов формування іонно-сольового складу ґрунтових вод у межах Бориславсько-Покутської зони, відповідності їхніх якісних характеристик щодо споживання людиною. Робота базується на результатах аналітичних визначень проб вод, відібраних із верхніх водоносних горизонтів, незахищених від забруднення, контроль за станом яких нерегулярний і належної інформації з цього питання немає.

Якісні характеристики ґрунтових вод зумовлені взаємодією із водовмісними породами, а також впливом антропогенного навантаження. У регіонах нафтовидобутку ґрунтові води забруднюються переважно через проникнення токсичних компонентів, які супроводжують процеси видобутку, транспортування та зберігання нафти: нафта та нафтопродукти, феноли, бензол, толуол, ксилол, солі важких металів (компоненти бурових розчинів).

Якість води, яка споживається людиною, визнається Верховною Радою України як один із основних пріоритетів охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів, що гарантується Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища» (1991), *Директивою Європейського Парламенту і Ради 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики»* (2000), Законом України «Про питну воду та питне водопостачання» (2002), Державними санітарними нормами і правилами «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) (2010).

Геохімічні дослідження ґрунтових вод у межах району досліджень автори виконали в рамках виконання бюджетної теми «Гідрогеологічні умови формування вуглеводневих покладів Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району та вплив видобувної промисловості на стан поверхневої і підземної гідросфери» Інституту геології і геохімії горючих копалин (ІГГК) НАН України.

Аналіз актуальних досліджень і публікацій. Результати фундаментальних еколого-гідрогеологічних досліджень підземних вод Карпатської нафтогазоносної провінції, зокрема Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району, від початку 60-х років ХХ століття, висвітлені у працях А. Є. Бабинця, В. В. Колодія, В. М. Щепака, К. С. Гавриленко, А. Ф. Романюка, О. Д. Штогрин, М. І. Спринського та ін. Автори приділяли увагу взаємодії в системі

вода–порода, динаміці глибинних і ґрунтових вод та їхнім гідрогеохімічним особливостям.

Результати досліджень ґрунтових вод заходу України відображені у працях (Гарасимчук та ін., 2013; Кость та ін., 2020; Медвідь та ін., 2023; Паньків та ін., 2016), у яких автори вивчали гідродинамічні та еколого-геохімічні особливості, вплив природних і техногенних чинників на їхні якісні та кількісні характеристики.

На основі визначення показників хімічного складу ґрунтових вод у межах Львівського прогину оцінено їхній екологічний стан та ступінь забруднення. Встановлено, що формування геохімічного складу ґрунтових вод зумовлено впливом факторів геологічного, фізико-хімічного, техногенного походження і наведено рекомендації щодо зменшення забруднення питної води та покращення її якості (Паньків та ін., 2016).

Вивчивши ґрунтові води Зовнішньої зони Передкарпатського прогину, встановили відмінності у якісних характеристиках різних гідростратиграфічних одиниць, причиною чого є неоднорідність літологічного складу водомісних порід, нестабільність товщини водоносного горизонту як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках, а також техногенні чинники, що впливають на нерівномірність поширення забруднення і його локальність (Кость та ін., 2020).

На підставі оцінки гідрогеохімічного складу з'ясовано, що причинами погіршення якості води в межах територій нафтогазовидобку можуть бути як збільшення масштабів техногенного впливу на компоненти довкілля, зокрема на стан поверхневих і підземних вод, так і збільшення скидання стічних вод від промисловості та сільського господарства (Медвідь та ін., 2023).

Оцінку екологічного статусу ґрунтових вод і результати гідрохімічних досліджень якості води у колодязях населених пунктів Закарпатської області та їхнє порівняння з вітчизняними та міжнародними стандартами для питної води виконали науковці Ужгородського національного університету (Трапезнікова та ін., 2013).

Проблему відповідності якості ґрунтової води цільовому призначенню на прикладі села у Запорізькій області досліджували у Дніпровському державному аграрно-економічному університеті. Автори стверджують, що населення с. Мала Білозерка забезпечене питними водами високої якості завдяки експлуатації буцацького водоносного горизонту, однак виявлене забруднення вод сарматського водоносного горизонту. Зважаючи на підвищений вміст іонів магнію, кальцію та нітратів у водах, відібраних з свердловини розташованої в пониженні рельєфу, а також з урахуванням деградації водної екосистеми ставка можна припустити, що основними джерелами поллютантів є фільтраційні втрати недоочищених стоків з водовідвідної мережі, стік з сільськогосподарських угідь тощо (Чушкіна та ін., 2020).

Дослідження еколого-геохімічних характеристик ґрунтових вод на території межиріччя Південний Буг – Синюха подано у роботі науковців Одеського національного університету імені І. І. Мечникова. Автори наголошують, що формування сульфатного натрієвого, сульфатного магнієво-натрієвого, гідрокарбонатного натрієвого; сульфатного кальцієво-натрієвого, іноді нітратно-хлоридно-натрієвого і нітратно-гідрокарбонатного типів відбувається

під впливом процесів взаємодії ґрунтових вод з гірськими породами, катіонного обміну, випарного концентрування, атмосферних опадів і антропогенних чинників. При цьому визначальними є процеси в системі вода–порода й антропогенний вплив. Збагачення ґрунтових вод іонами Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} відбувається шляхом вивітрювання силікатних (польового шпату, хлоридів) і розчинення карбонатних мінералів (кальцитів, доломітів); іонами SO_4^{2-} – завдяки розчиненню сульфатних (гіпс) мінералів, сульфідної мінералізації та атмосферних опадів. Підвищені концентрації іонів Na^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- у ґрунтових водах є наслідком сільськогосподарської діяльності (Мелконян та ін., 2021).

Зіставлення гідрогеологічних даних за різні часові відтинки (60–70-ті роки ХХ сторіччя та 2000–2010 рр.) наведено у праці науковців київських геологічних установ. Дослідження засвідчили інтенсивний перебіг забруднення підземних вод у четвертинних відкладах у межах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну, а картографічні побудови досить наочно зафіксували зміни якості підземних вод четвертинного водоносного горизонту в часі, що, найімовірніше, підтверджує негативний антропогенний вплив (Лютий та ін., 2021).

Дослідження щодо екологічної оцінки нафтозабруднених територій, визначення найпоширеніших забруднювальних речовин у криницях, річках, потічках у межах впливу озокеритової шахти м. Борислава представлені у праці (Романюк & Шевчик, 2013).

На прикладі Надвірнянського нафтогазопромислового району В. С. Скрипник розробив і апробував систему комплексного екологічного моніторингу, побудував екологічні карти, запропонував рекомендації зі стабілізації та зменшення впливу нафтогазовидобутку на сучасну екологічну ситуацію (Скрипник, 2010).

Новітні методики та підходи щодо оцінки еколого-геохімічних характеристик висвітлені у працях дослідників (Aghazadeh et al., 2017; Ravikumar et al., 2015; Sajil Kumar, 2013; Toteva & Shanov, 2021; Varol & Davraz, 2016), у яких наведено результати гідрогеохімічних досліджень підземних вод Індії, Ірану, Туреччини та Болгарії. Згідно з хімічними результатами і кластеризацією точок даних на діаграмі Гіббса в більшості досліджуваних зразків на склад і якість підземних вод впливає хімічне вивітрювання породотворних мінералів, а в деяких зразках – випаровування. Належність підземних вод до гідрохімічних фацій автори встановили з допомогою діаграм Пайпера. Розраховані індекси забруднення і порівняння результатів зі стандартами ВООЗ для визначення якості підземних вод для різних видів використання показали, що більша частина підземних вод досліджуваної території є хімічно придатною для питного, промислового та сільськогосподарського використання.

Аналіз і оцінку хімічного складу ґрунтових вод Китаю, їхню якість, придатність для пиття і сільськогосподарського використання, інтерпретацію показників та порівняння типів вод за допомогою діаграм Пайпера і Гіббса, матриці парних коефіцієнтів кореляцій Пірсона відображено в дослідженнях (Li et al., 2018; Sun et al., 2024; Xiao et al., 2017). Вчені вказують на важливість і актуальність дослідження хімічних характеристик та генези ґрунтових вод, що має велике значення для безпеки питної води, особливо в сіль-

ській місцевості. А природні процеси, які впливають на склад вод, визначають як ключовий фактор гідрохімії. Автори (Sun et al., 2024) зазначають, що хімічний склад підземних вод в основному контролюється вивітрянням гірських порід; вміст іонів натрію і калію – вилуговуванням з кам'яної солі і силікатних порід; джерелом іонів кальцію і магнію є карбонатні породи. Залізо і марганець у підземних водах переважно залежать від геологічних і літологічних чинників, а нітрати і фтор – від антропогенної діяльності.

Про важливість багатовимірного статистичного аналізу та геохімічного моделювання для вивчення геохімії підземних вод Нігерії і Єгипту йдеться у працях (El-Wahed et al., 2022; Musa et al., 2019). Науковцями доведено, що основними чинниками, які визначають генезу вод та їхній геохімічний склад є взаємодія вода і гірські породи, тектоніка й антропогенні фактори.

Мета роботи – аналіз і цілісна оцінка еколого-геохімічних показників ґрунтових вод у межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину, виокремлення впливів природного та антропогенного характерів, встановлення їхньої відповідності екологічним нормативам.

Об'єкти дослідження – ґрунтові води населених пунктів у межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину.

Методика дослідження. З метою виконання дослідження було відібрано 35 проб із неглибоких колодязів і свердловин, які населення використовує для господарсько-питних потреб. Схему відбору проб наведено на рис. 1.

Аналітичні дослідження показників геохімічного складу ґрунтових вод проведено в атестованій хіміко-аналітичній лабораторії ІГГК НАН України



Рис. 1. Схема відбору проб вод в межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину:

1 – місце відбору ґрунтових вод; 2 – контур вуглеводневого покладу

(Свідоцтво про відповідність системи керування вимірюваннями № РЛ 035/24 від 05 червня 2024 р.). Визначено такі показники: *pH*, мінералізацію, окиснюваність перманганатну, кількості натрію, калію, кальцію, магнію, кремнію, хлоридів, сульфатів, гідрокарбонатів, сполук амонію, нітритів, нітратів. Для встановлення відповідності геохімічних показників складу і диференційованої оцінки вод використано нормативи гранично допустимих концентрацій (ГДК) санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води та показники фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води, які наведені в державних санітарних нормах України для води, призначеної для споживання людиною (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010).

У роботі застосовано методи, що відповідають сучасним дослідженням. Для статистичних розрахунків, кореляційного аналізу, побудови трилінійних графіків Пайпера і графічної обробки результатів аналізів вод ми використали пакети прикладних програм *Microsoft Excel*, *ArcMap*, *Grapher*.

Виклад основного матеріалу дослідження. Бориславсько-Покутський нафтогазоносний район – один з найдавніших нафтовидобувних районів не тільки України, а й Європи. Промислова розробка Бориславського нафтогазоконденсатного родовища почалася ще в 1853 році. У межах цього району зосереджена основна кількість нафтових родовищ Заходу України. Сьогодні кількість родовищ району становить 44. За останній час тут відкрито одне нове родовище та декілька нових покладів у межах вже відкритих родовищ. Основна ресурсна база нафтогазових родовищ району була зосереджена на глибинах до 3 км. Головний потенціал району пов'язаний з глибинами понад 4 км, де з окремих колекторів декількох родовищ отримані промислові припливи нафти (Іванюта, 1998).

Географічною особливістю Бориславсько-Покутської зони є наявність у її межах великої кількості промислових, туристичних, рекреаційно-бальнеологічних об'єктів, населених пунктів, неочищені стоки яких переважно скидаються у річкову мережу, яка у межах цього регіону має гідравлічний зв'язок з ґрунтовими водами.

Для з'ясування хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод побудовано діаграму Пайпера, що графічно відображає переважання головних катіонів і аніонів, які проєктуються однією точкою на загальне результуюче поле, у процентах еквівалентах концентрацій (Piper, 1944).

Проведені дослідження ґрунтових вод показали, що за макрокомпонентним складом води, в основному, гідрокарбонатні кальцієві, крім декількох проб, описаних далі. За катіонним складом майже усі проби вод надходять у зону кальцієвих вод, декілька в зону змішаного типу і лише три проби – натрієвого типу. За аніонним складом основна частка проб гідрокарбонатного, три – змішаного, дві – хлоридного типу. Загалом основна кількість проб спроектувалася в зону геохімічної фації ($\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$) (рис. 2).

Відомо, що концентрація різних іонів у ґрунтових водах залежить від багатьох чинників (вивітрювання і розчинення гірських порід, випарне концентрування, атмосферні опади), а також від ступеня антропогенного впливу. Для встановлення впливу цих процесів на формування хімічного складу ґрунтових вод використано діаграми Гіббса, побудовані з урахуванням відносної

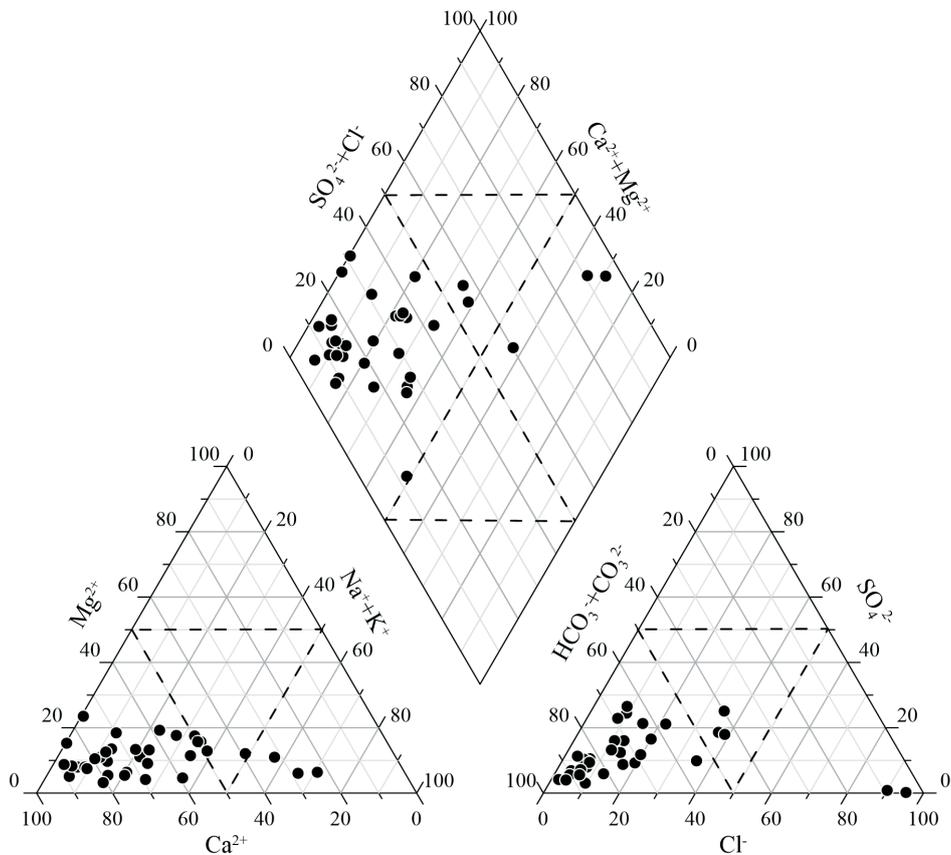


Рис. 2. Діаграма Пайпера складу ґрунтових вод досліджуваного регіону

концентрації іонів у мг-екв/л $(\text{Na}^+ + \text{K}^+) / (\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Ca}^{2+})$ та $\text{Cl}^- / (\text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-)$ і мінералізації (мг/л) (Gibbs, 1970; Marandi & Shand, 2018).

На діаграмах Гіббса більшість проб згруповані в секторі «домінування взаємодії в системі вода–порода», що вказує на те, що розчинення гірських порід є основним процесом, що впливає на гідрохімію ґрунтових вод. Лише у двох пробах, відібраних у с. Воля Блажівська (точки 11 і 12), переважає випаровування, що також підтверджують високі концентрації Na^+ і Cl^- у цих пробах (рис. 3).

Додатково для визначення процесів, які контролюють хімічний склад ґрунтових вод, використано графік взаємозалежності концентрації натрію і хлору. Як видно з рис. 4, основна кількість проб розташована в секторі із вмістом до 10 мг-екв/л, окрім двох проб (точка 11, 12), у яких виявлені їхні підвищені вмісти. Ймовірно підвищені концентрації цих іонів у ґрунтових водах зумовлені розчиненням галіту із водовмісних порід. Про вплив природних чинників на збагачення ґрунтових вод іонами Cl^- і Na^+ вказує також позитивна кореляція між вмістом цих іонів (табл. 1).

Для вивчення впливу процесів вилюговування на хімічний склад ґрунтових вод використано графік співвідношення $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ до $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$. Результати вказують на домінування процесів катіонного обміну в досліджених

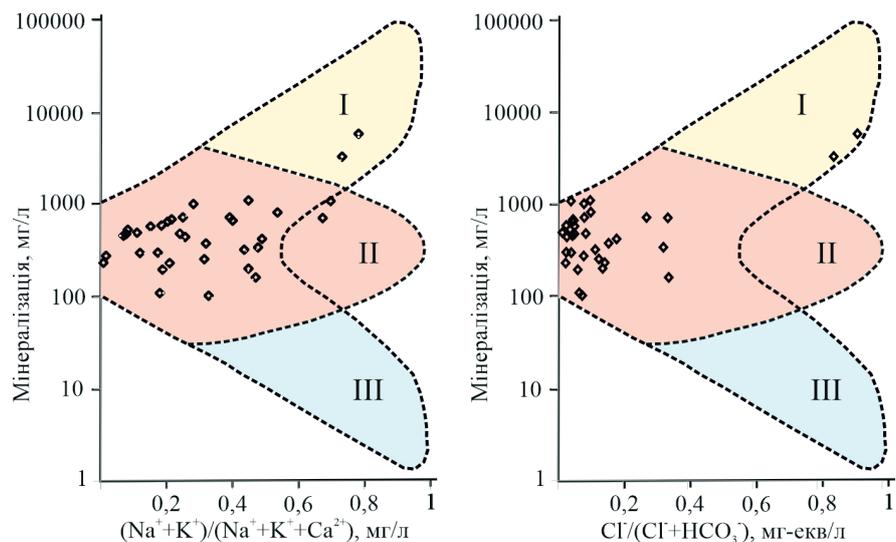


Рис. 3. Діаграми Гіббса досліджуваного регіону:
 I – домінування процесу випаровування; II – домінування взаємодії в системі вода–порода;
 III – домінування атмосферних опадів

Т а б л и ц я 1. Кореляційна матриця компонентів хімічного складу ґрунтових вод

	<i>pH</i>	Мінералізація, г/л	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	O _{перм}
<i>pH</i>	1,00									
<i>M</i>	-0,06	1,00								
Na ⁺ +K ⁺	-0,15	0,99	1,00							
Ca ²⁺	0,12	0,94	0,88	1,00						
Mg ²⁺	-0,05	0,95	0,93	0,89	1,00					
NH ₄ ⁺	-0,54	-0,19	-0,12	-0,32	-0,20	1,00				
Cl ⁻	-0,18	0,97	0,99	0,86	0,90	-0,10	1,00			
SO ₄ ²⁻	0,17	0,03	-0,05	0,14	0,21	-0,14	-0,12	1,00		
HCO ₃ ⁻	0,52	0,27	0,14	0,49	0,36	-0,45	0,04	0,50	1,00	
O _{перм}	-0,37	0,68	0,73	0,50	0,67	0,26	0,71	-0,04	-0,05	1,00

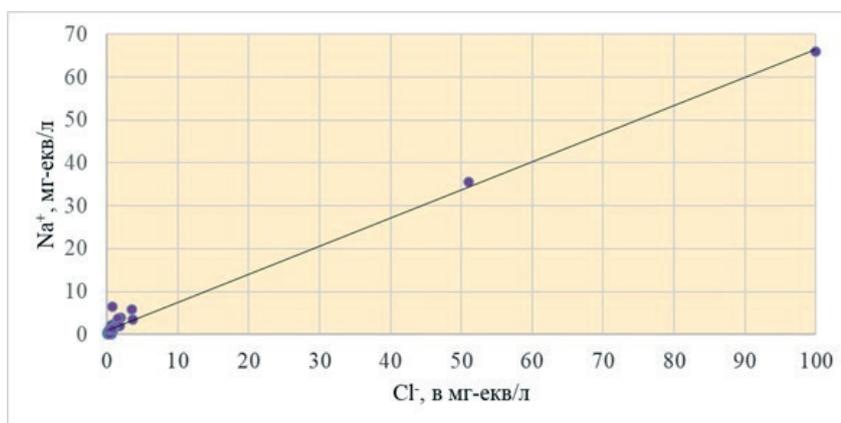


Рис. 4. Залежність вмісту Na⁺ від Cl⁻ (мг-екв/л)

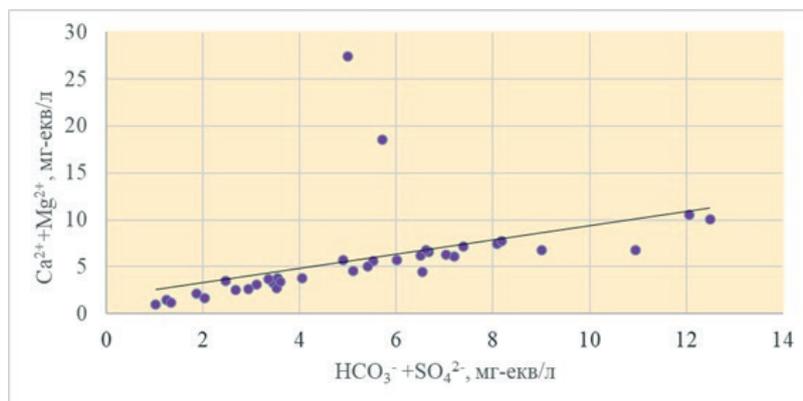


Рис. 5. Залежність вмісту ($\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$) від вмісту ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$), мг-екв/л

пробах вод, а дві точки, що вибиваються з тренду, свідчать про вплив процесів розчинення карбонатних і сульфатних мінералів (рис. 5).

Статистичний аналіз даних вмісту макрокомпонентів у ґрунтових водах вказує на аномальний характер варіювання для концентрації хлору, вмісту натрію і калію, мінералізації і магнію (табл. 2).

Для кількісної оцінки зв'язку між концентраціями іонів, водневим показником і величиною мінералізації ґрунтових вод розраховано матрицю парних коефіцієнтів кореляцій Пірсона. Існує тісний лінійний позитивний взаємозв'язок між величиною мінералізації і концентраціями $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- та показником окиснюваності перманганатної, що вказує на наявність єдиного процесу збагачення ґрунтових вод цими іонами. Відсутній позитивний зв'язок між концентрацією іонів HCO_3^- , SO_4^{2-} та мінералізацією (див. табл. 1).

Оскільки усі криниці розташовані в садибах селян, які здебільшого вживають ці води як питні, доцільно встановити їхню відповідність нормативам

Т а б л и ц я 2. Статистичний аналіз макрокомпонентного складу ґрунтових вод

Статистика	pH	Мінералізація, г/л	Катіони, г/л				Аніони, г/л		
			$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-
Кількість	35	35	35	35	35	29	35	35	35
Мінімум	5,3	103	0,46	15,03	2,38	0,6	3,47	3,00	43,93
Середнє	7,0	727	108	99	11	16	180	35	281
Максимум	7,6	5902,03	1548,46	429,58	73,08	57,1	3545,30	156,78	622,36
Стандартне відхилення	0,5	1054,05	288,31	79,58	13,58	14,3	658,95	33,25	154,49
Медіана	6,5	482,12	29,13	93,28	6,11	15,2	19,46	24,20	292,88
Ексцес	-0,09	18,444	20,029	8,954	12,906	1,659	21,909	5,658	-0,381
Асиметрія	-0,24	4,117	4,371	2,629	3,294	1,326	4,613	2,325	0,463
Коефіцієнт варіації, %	7,52	145,08	267,98	80,24	122,80	87,97	366,55	94,79	55,03

Державних санітарних норм та правил (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010). Порівняння фактичних значень складу ґрунтових вод з нормативними наведено в табл. 3.

Встановлено, що в деяких колодязях спостерігаються аномально високі концентрації Na^+ , K^+ , Cl^- і величини мінералізації. Зокрема, проаналізовані води із двох криниць с. Воля-Блажівська (точка 11, глибина 3 м; точка 12, глибина 8 м) одного домогосподарства за складом хлоридного кальцієво-натрієвого складу, хлоридно-кальцієвого типу (див. рис. 1). Вони характеризуються підвищеною мінералізацією (3,3–5,9 г/л), загальною твердістю (18,5–27,5 мг-екв/л), слабкокислі, з підвищеним вмістом $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ (перевищення ГДК фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води у 41,7–77,4), кальцію (4,1–5,7), хлориду (5,2–10,1), кремнію (1,01–1,05) та значенням окиснюваності перманганатної (1,2–2,6) і відповідно до (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010) є непридатними до споживання (див. табл. 3). Обидві свердловини пробурені у солевмісних відкладах воротищенської світи нижнього неогену (Павлюк, 2010).

Т а б л и ц я 3. Показники якості питної води (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010)

Показник	Нормативи санітарно-хімічних показників безпеки та якості питної води (кількість проб зі значеннями більше норми)	Нормативи фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (кількість проб зі значеннями більше норми)	Фактичні значення
Загальна жорсткість, ммоль/л	≤ 10 (5)	1,5–7,0 (8)	1,0– 30,4
Загальна лужність, ммоль/л	н. в.	0,5–6,5	0,72– 10,19
Водневий показник, pH	6,5–8,5	н. в.	5,34 –7,6
Калій, мг/л	н. в.	2–20 (9)	1,16– 220,0
Кальцій, мг/л	н. в.	25–75 (19)	15,02– 429,57
Магній, мг/л	н. в.	10–50 (1)	2,38– 73,08
Натрій, мг/л	н. в.	2–20 (9)	3,00– 1466,70
Сухий залишок, мг/л	≤ 1500 (2)	200–500 (9)	79,38– 5755,59
Йод, мкг/л	н. в.	20–30	н. в.
Сульфати, мг/л	≤ 500	н. в.	3,0–156,8
Хлориди, мг/л	≤ 350 (2)	н. в.	3,47– 3545,3
Амоній, мг/л	≤ 2,6	н. в.	0,07–0,36
Нітрати, мг/л	≤ 50 (1)	н. в.	0,36– 57,1
Нітрити, мг/л	≤ 3,3	н. в.	0,004–0,071
Перманганатна окиснюваність, мг/л	≤ 5,0 (5)	н. в.	0,9– 12,8

Примітка: н. в. – не визначається.

Натомість вода із криниці цього ж села (точка 10, глибина 4 м), але сіднього домогосподарства, розташованого на протилежному березі річки Волянка, за складом гідрокарбонатна кальцієва, мінералізація 0,5 г/л, значення окиснюваності перманганатної складає 1,1 мг О/л, що свідчить про її придатність до споживання.

Величина водневого показника у досліджуваних ґрунтових водах змінюється від 5,3 до 7,6 од. рН (див. табл. 2). У 15 із 35 досліджуваних проб вод його значення є нижче межі нормативних допусків для питних вод. Відповідно до ДСанПіН 2.2.4-171-10 (*Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною*, 2010) норма рН для питних вод має бути в межах 6,5–8,5 (див. табл. 3). Згідно з європейським стандартом якості, показник кислотно-лужного балансу питної води в ЄС теж становить 6,5–9,5; однак є примітка, що для вод, які зберігаються у пляшках та контейнерах, його мінімальне значення може бути скорочене до 4,5 одиниць рН (*Директива Європейського парламенту і Ради 2000/60/ЄС*, 2000). Існує загальноприйнята думка про те, що оптимальне значення рН питної води повинно бути приблизно 7. Нейтральна вода, збалансована за рН, вважається найбезпечнішою для споживання. Однак до 2019 р. був чинним ГОСТ 2874-82, у якому допустимим і безпечним для споживання був вказаний рівень рН 6,0–9,0. Варто відзначити, що вплив рН питної води на організм людини не є таким критичним, як інші фактори, наприклад, вміст мінералів або забруднень у воді.

За нормативами фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води підвищені показники загальної жорсткості зафіксовані у 8 пробах. Дуже жорстка вода, де показник ГДК перевищено майже учетверо у с. Верхнє Синьовидне, (30,4 ммоль/л, точка 30) і у с. Воля Блажівська (27,5 і 18,5 ммоль/л, точки 11 і 12, відповідно). У п'яти криницях твердість води дещо перевищує ГДК: м. Самбір, с. Чуква (10,5 і 10,1 ммоль/л, точки 1 і 7, відповідно), у м. Борислав, селах Бережниця і Тершів (7,7; 7,5 і 7,1 ммоль/л, точки 33, 6 і 2, відповідно) (див. рис. 1, табл. 3).

У восьми пробах спостерігаються не критично завищені показники загальної лужності: по дві – у с. Чуква (точки 7, 8) і у м. Самбір (точки 1, 4), с. Бережниця (точка 6), м. Борислав (точка 33), с. Тершів (точка 2), с. Верхня Стінава (точка 34) (див. рис. 1, табл. 3).

Значні перевищення ГДК (в 11 разів) щодо вмісту калію, спостерігаємо у м. Самбір (точка 4). У 3–4 рази фіксуються перевищення ГДК у селах Чуква (точки 7, 8), Воля Блажівська (точки 11, 12), Стрільбичі (точка 5) (див. табл. 3).

Підвищена концентрація іонів кальцію фіксується загалом у 19 пробах: у двох пробах перевищує ГДК у 6 разів (с. Воля Блажівська, точки 11, 12), у двох – у 2,5 рази (м. Самбір, точка 1; с. Чуква, точка 7), у всіх решта пробах спостерігаємо перевищення даного компонента – 1,5–1,7 рази (див. табл. 3).

Підвищена концентрація іонів натрію виявлена загалом у дев'яти пробах: аномально високі значення в пробах із с. Воля Блажівська (точки 11, 12), у трьох – перевищення ГДК у 2,5–3 рази (м. Самбір, точка 1; с. Вільхівка, точка 20; с. Чуква, точка 7); у чотирьох пробах спостерігаємо перевищення даного компонента – 1,1–1,8 рази (див. рис. 1, табл. 3).

Окиснюваність перманганатна у п'яти колодязях дещо перевищує регламентований вміст (5,0 мг/л), що вказує на забруднення відібраних ґрунтових

вод органічними компонентами у с. Воля Блажівська (точки 11, 12), с. Оболя (точка 16), м. Рожнятів (точка 17) та м. Долина (точка 18) (див. рис. 1, табл. 3).

Підвищений вміст нітратів (41,9 мг/л) зафіксовано у м. Надвірна (точка 23), а у с. Зелена (точка 22) їхній вміст (57,1 мг/л) перевищує ГДК, що, імовірно, є наслідком проникнення у водоносні горизонти мінеральних і органічних добрив, рідких стоків, які утворюються при утримуванні худоби, при удобренні ґрунту рідким гноєм. Інші показники якісного стану вод відповідно до нормативів санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води знаходяться в межах нормативних значень і води цих криниць є придатними до споживання.

Висновки. Встановлено, що за макрокомпонентним складом ґрунтові води Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину в основному гідрокарбонатні кальцієві. Лише води із двох свердловин хлоридно-кальцієво-натрієві різко відрізняються за складом від усіх інших проб і є непридатними для пиття, оскільки для них характерні аномально високі значення хімічних показників.

Перевищення нормативів санітарно-хімічних показників безпечності та якості питної води спостерігається у 14 % проб за загальною жорсткістю і перманганатною окиснюваністю; майже у 6 % – за вмістом хлоридів і загальним вмістом солей (сухий залишок); у 3 % – за вмістом нітратів. Невідповідність нормативам фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води, які є більш жорсткими, фіксується у 54 % проб за вмістом кальцію, у 26 % – калію, натрію і загального вмісту солей; у 23 % – за загальною жорсткістю та лужністю і у 3 % за вмістом магнію, що робить їх обмежено придатними до споживання людиною. У решті проб відхилення від нормативних величин для досліджуваних показників не спостерігається.

Результати дослідження вказують на те, що основними чинниками формування хімічного складу ґрунтових вод у межах Бориславсько-Покутської зони Передкарпатського прогину є взаємодія вода–порода, випаровування і антропогенний вплив.

Гарасимчук, В., Паньків, Р., & Камінецька, Б. (2013). Гідродинамічне моделювання та оцінка еколого-геохімічних характеристик ґрунтових вод сільської місцевості (на прикладі с. Новосілка Львівської області). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1–2, 78–87. http://nbuv.gov.ua/UJRN/giggk_2013_1-2_10

Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною (ДСанПіН 2.2.4-171-10). (2010). Київ. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

Директива Європейського парламенту і Ради 2000/60/ЄС «Про встановлення рамок заходів Співтовариства в галузі водної політики». (2000). Взято 30.10.2025 з https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_962#Text

Іванюта, М. М. (Ред.). (1998). *Атлас родовищ нафти і газу України: Т. 4. Західний нафтогазоносний регіон*. Львів: Центр Європи.

Кость, М., Медвідь, Г., Гарасимчук, В., Телегуз, О., Сахнюк, І., & Майкут, О. (2020). Геохімічна характеристика річкових та ґрунтових вод (Зовнішня зона Передкарпатського прогину). *Геологія і геохімія горючих копалин*, 1(182), 76–87. <https://doi.org/10.15407/ggcm2020.01.076>

Лютій, Г. Г., Люта, Н. Г., & Саніна, І. В. (2021). Оцінка змін якості підземних вод водоносних горизонтів Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. *Мінеральні ресурси України*, 3, 20–23. <https://doi.org/10.31996/mru.2021.3.20-23>

- Медвідь, Г. Б., Кость, М. В., Телегуз, О. В., Сахнюк, І. І., & Кальмук, С. Д. (2023). Особливості формування геохімічного складу ґрунтових вод в межах північно-західної частини Бориславсько-Покутського нафтогазоносного району. У *Надрокористування в Україні. Перспективи інвестування* (с. 489–493). Київ: ДКЗ. https://conf.dkz.gov.ua/files/2023_materials_net.pdf
- Мелконян, Д. В., Черкез, Є. А., & Тюрємина, В. Г. (2021). Еколого-геохімічна характеристика ґрунтових вод межиріччя Південний Буг – Синюха. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 26(1(38)), 149–168. [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1\(38\).234688](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2021.1(38).234688)
- Павлюк, В. (2010). Вплив геологічних факторів на екзогенні процеси міоценових соленосних відкладів Українського Передкарпаття. *Геологія і геохімія горючих копалин*, 2(151), 89–104.
- Паньків, Р. П., Кость, М. В., Сахнюк, І. І., Майкут, О. М., Мандзя, О. Б., Навроцька, І. П., & Козак, Р. П. (2016). Геохімічні особливості ґрунтових вод в межах території Львівського прогину. *Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті*, 1, 23–30. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vvt_2016_1_5
- Про охорону навколишнього природного середовища (Закон України № 1268–XII). (1991). *Відомості Верховної Ради України*, 41, 546. Взято 30.10.2025 з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text>
- Про питну воду та питне водопостачання (Закон України № 2887–IX). (2002). *Відомості Верховної Ради України*, 16, 112. Взято 30.10.2025 з <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14#Text>
- Романюк, О. І., & Шевчик, Л. З. (2013). Комплексний екологічний моніторинг нафтозабруднених територій на прикладі м. Борислава. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, 5, 19–22.
- Скрипник, В. С. (2010). Система екологічного моніторингу та заходи стабілізації стану довкілля Надвірнянського нафтогазопромислового району. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*, 1, 16–26.
- Трапезнікова, Л. В., Мониц, І. І., & Хрипта, Ю. В. (2013). Екологічний стан поверхневих та ґрунтових вод басейну р. Іршава. *Науковий вісник Ужгородського університету. Хімія*, 1(29), 87–93.
- Чушкіна, І. В., Максимова, Н. М., & Бордальова, А. Ю. (2020). Оцінка відповідності якості водних ресурсів с. Мала Белозірка вимогам стандартів. *Збірник наукових праць ЛОГОС*, 79–83. <https://doi.org/10.36074/11.12.2020.v2.23>
- Aghazadeh, N., Chitsazan, M., & Golestan, Y. (2017). Hydrochemistry and quality assessment of groundwater in the Ardabil area, Iran. *Applied Water Science*, 7, 3599–3616. <https://doi.org/10.1007/s13201-016-0498-9>
- El-Wahed, M. A., El-Horiny, M. M., Ashmawy, M., & El Kereem, S. A. (2022). Multivariate statistical analysis and structural sovereignty for geochemical assessment and groundwater Prevalence in Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt. *Sustainability*, 14(12), 6962. <https://doi.org/10.3390/su14126962>
- Gibbs, R. J. (1970). Mechanisms controlling world water chemistry. *Science*, 170(3962), 1088–1090. <https://doi.org/10.1126/science.170.3962.1088>
- Li, X., Wu, H., Qian, H., & Gao, Y. (2018). Groundwater chemistry regulated by hydrochemical processes and geological structures: A case study in Tongchuan, China. *Water*, 10(3), 338. <https://doi.org/10.3390/w10030338>
- Marandi, A., & Shand, P. (2018). Groundwater chemistry and the Gibbs Diagram. *Applied Geochemistry*, 97, 209–212. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.07.009>
- Musa, A., Oluwafemi, A., Changlai, X., & Xuijuan, L. (2019). Hydrogeochemistry of groundwater from Kazaure Area, NW Nigeria using multivariate statistics. *E3S Web of Conferences*, 98, 07001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199807001>
- Piper, A. M. (1944). A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Trans. Am. Geophys. Union*, 25(6), 914–928. <https://doi.org/10.1029/TR025i006p00914>

- Ravikumar, P., Somashekar, R. K., & Prakash, K. L. (2015). A comparative study on usage of Durov and Piper diagrams to interpret hydrochemical processes in groundwater from SRLIS river basin, Karnataka, India. *Elixir Earth Sci.*, 80, 31073–31077. <https://www.researchgate.net/publication/273886861>
- Sajil Kumar, P. J. (2013). Interpretation of groundwater chemistry using Piper and Chadha's diagrams: a comparative study from Perambalur Taluk. *Elixir Geoscience*, 54, 12208–12211. <https://www.researchgate.net/publication/234128522>
- Sun, Q., Yang, K., Li, C., Li, C., Ling, X., & Yang, D. (2024). Analysis on the chemical characteristics and genesis of drinking groundwater in rural areas of Suihua City, Northeast China. *Environmental Forensics*, 25(6), 614–625. <https://doi.org/10.1080/15275922.2023.2297871>
- Toteva, A., & Shanov, S. (2021). Chemical composition of groundwater in the zone of slow water exchange of the Upper Pontian aquifer, Northwestern Bulgaria. *Engineering Geology and Hydrogeology*, 35, 23–30. <https://doi.org/10.52321/igh.35.1.23>
- Varol, S., & Davraz, A. (2016). Evaluation of potential human health risk and investigation of drinking water quality in Isparta city center (Turkey). *Journal of Water and Health*, 14(3), 471–488. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.187>
- Xiao, Y., Gu, X., Yin, S., Pan, X., Shao, J., & Cui, Y. (2017). Investigation of geochemical characteristics and controlling processes of groundwater in a typical long-term reclaimed water use area. *Water*, 9(10), 800. <https://doi.org/10.3390/w9100800>

Стаття надійшла:
31.10.2025 р.

Olha TELEHUZ, Halyna MEDVID, Vasyl HARASYMCHUK

Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals
of the National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine,
e-mail: olga_teleguz@ukr.net

**ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL STATUS
OF GROUNDWATER IN THE BORYSLAV-POKUTTIA ZONE
OF THE CARPATHIAN FOREDEEP**

Introduction. Assessment and study of the ecological and geochemical characteristics of groundwater and determination of their compliance with environmental standards is a relevant area of research, as these waters are used by the population for domestic and drinking purposes.

Purpose of the article. Analysis and assessment of ecological and geochemical indicators of groundwater within the Boryslav-Pokuttia Zone of the Carpathian Foredeep, identification of natural and anthropogenic influences, and determination of their compliance with environmental standards.

Research methods. The results of analytical determinations of 35 water samples from shallow wells and boreholes used by the population for domestic and drinking purposes are presented. To establish the status of groundwater, the maximum permissible concentration (MPC) standards for sanitary and chemical indicators of drinking water safety and quality, as well as indicators of physiological compliance with the mineral composition of drinking water, were utilized. Statistical, analytical, and graphical visualization methods were used to process and interpret the results of water analyses.

Results. The composition of the studied waters varies from hydrocarbonate calcium to chloride calcium-sodium. Statistical analysis of the data on the content of macroelements

in groundwater showed abnormal variation in the concentrations of chlorine, sodium and potassium, mineralization and magnesium.

A close linear positive correlation between Pearson's correlation coefficients between mineralization and concentrations of $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- and permanganate oxidability was established, indicating the presence of a single process of groundwater enrichment with these ions.

It has been established that the main processes affecting the geochemical composition of groundwater are water-rock interaction and evaporation, which is particularly clearly illustrated by two samples from wells in the Volia Blazhivska village.

The graphs showing the interdependence of sodium and chlorine concentrations demonstrate increased concentrations of these ions in groundwater, which are caused by the dissolution of halite and the amount of atmospheric precipitation. The graph of the ratio $(\text{HCO}_3^- + \text{SO}_4^{2-})$ and $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ indicates the dominance of cation exchange processes in the studied aquifer.

Conclusions. It has been established that the main factors influencing the chemical composition of groundwater within the Boryslav-Pokuttia Zone of the Carpathian Fore-deep are water-rock interaction, evaporative concentration and anthropogenic impact. Exceedances of sanitary and chemical safety and quality standards for drinking water have been identified in terms of total hardness, permanganate oxidisability, chloride content, total salt content and nitrate content. Non-compliance with the standards for the physiological adequacy of the mineral composition of drinking water is recorded for calcium, potassium, sodium, total salt content, total hardness, alkalinity and magnesium content, which makes them of limited suitability for human consumption. However, the majority of samples showed no deviations from the normative values for the indicators assessed.

Keywords: groundwater, macrocomponent composition, ecological and geochemical indicators, water quality, oil and gas bearing area.