

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ГЕОХІМІЇ, МІНЕРАЛОГІЇ ТА РУДОУТВОРЕННЯ
ІМЕНІ М. П. СЕМЕНЕНКА**

КОШЛЯКОВА ТЕТЯНА ОЛЕКСІЇВНА

УДК 550.4:556.314-022.53]:911.373/.375(477)(043.3

**ГІДРОГЕОХІМІЯ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ВОДОНОСНИХ СИСТЕМ
СЕЛІТЕБНИХ ЛАНДШАФТІВ УКРАЇНИ**

Спеціальність 04.00.02 – геохімія

Реферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора геологічних наук

Київ – 2025

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано у відділі геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України.

Науковий консультант: доктор геологічних наук, професор
Кураєва Ірина Володимирівна
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, завідувач відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії

Офіційні опоненти: доктор геологічних наук, член-кореспондент НАН України, професор
Наумко Ігор Михайлович
Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України, завідувач відділу геохімії глибинних флюїдів

доктор геологічних наук, професор
Удалов Ігор Валерійович
Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, професор кафедри фундаментальної і прикладної геології факультету геології, географії, рекреації і туризму

доктор геологічних наук, професор
Деревська Катерина Ігорівна
Національний університет «Києво-Могилянська академія», професорка кафедри екології факультету природничих наук

Захист відбудеться **27 травня 2025 р. о 10:00** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.203.01 в Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України: проспект Академіка Палладіна, 34, м. Київ, 03142.

Захист транслюватиметься на YouTube-каналі Вченої ради ІГМР НАН України:
https://youtube.com/@igmr_2024?si=XGXGYExmKe387RVg

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України: проспект Академіка Палладіна, 34, м. Київ, 03142.

Про дату та місце захисту громадськість проінформовано «24» квітня 2025 р.

Вчений секретар
докторської ради Д 26.203.01
кандидат геологічних наук



І.А. Швайка

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. 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 галузей економіки. В нинішніх умовах збройної російської агресії проблема забезпеченості населення якісною питною водою загострилася ще більше.

У зв'язку з незадовільним станом поверхневих водних джерел в умовах надзвичайної ситуації особливого значення набувають підземні води. Як стверджують В.М. Шестопалов та В.В. Гончарук, прісні підземні води є золотим стратегічним запасом держави, тому, зважаючи на незадовільну якість води у поверхневих водостоках, істотні затрати на її очищення і неможливість ефективного захисту від техногенних забруднень, першочергового значення набувають пошук і використання підземних прісних вод для потреб населення.

Підземні води наразі становлять 13,8 % у загальному водоспоживанні держави і використовуються переважно для господарсько-питного водопостачання, сільського господарства та для виробничо-технічних цілей. Із усіх міст України (474) у 77 містах водопостачання здійснюється винятково з підземних водних джерел, у 161 місті частка використання підземних вод перевищує 50 % від загального споживання води.

Водночас спостерігається тенденція до зниження відбору підземних вод для господарсько-побутового використання, яка спричинена зниженням економічної активності чи погіршенням якості підземних вод. Наприклад, протягом 2001–2014 рр. використання підземних вод для цих цілей знизилось на 49,6 %.

Стосовно підходів до нормування якості підземних вод, наразі в Україні діють наступні нормативні документи щодо якості питних підземних вод: ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (чинний з 2010 року), ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання» (чинний з 2012 року) та ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» (чинний з 2015 року). Важливою перевагою нового ДСТУ 7525:2014 перед попереднім ДСТУ 4808:2007 є уведення терміну «бювет» (за аналогією з ДСанПіН 2.2.4-171-10). Також на законодавчому рівні в Україні імплементовані основні положення Водної рамкової директиви ЄС (ВРД ЄС) – Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту та Європейської Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики».

За кордоном при оцінці якості води та визначенні гранично допустимих концентрацій компонентів її хімічного складу використовують нормативи Всесвітньої організації охорони здоров'я (World Health Organization). Літературний аналіз показав, що на сьогоднішній день багато вчених орієнтуються на американські норми для питної води, розроблені Агентством з охорони навколишнього середовища США – National Primary Drinking Water Regulations.

Як стверджує І.О. Рой, за сучасних умов, коли набули розвитку високоточні лабораторні методи аналізу, виникла необхідність здійснити перехід від існуючої системи оцінки якості питної води за принципом «відповідає – не відповідає» до можливості встановлення кількісних та/або якісних характеристик шкідливих ефектів для здоров'я населення, обумовлених впливом екологічного стану джерел питного водопостачання.

Стандартний підхід щодо визначення основних катіонів та аніонів у питній воді, є недостатнім для оцінки стану та якості досліджуваних зразків води. Як наголошують В.В. Шестопалов та Н.Б. Овчиннікова, якщо ми хочемо зрозуміти, як питна вода впливає на організм, які ризики та наслідки очікують здоров'я населення та наступних поколінь при тривалому споживанні води якогось визначеного складу, ми повинні розглядати склад води якомога точніше, а не приблизно. Саме тому мікроелементний аналіз питних підземних вод набуває великого значення. Задача виявлення впливу на здоров'я людини одного з компонентів складу, коли у воді завжди є й інші складові і дія їх комплексна, – дуже складна і в будь-якому випадку потребує певних зусиль для правильної постановки досліду та його інтерпретації. Такого роду дослідження (впливу питної води) знаходяться на стику гідрогеології, гідрогеохімії, з одного боку, та фізіології і медицини – з іншого.

Представлена робота направлена на вирішення актуальної задачі – дослідженні особливостей поширення мікроелементів, зокрема есенційних (життєво важливих), у питних підземних водах основних водоносних систем України, виділених, ґрунтуючись на сучасних принципах гідрогеологічного районування території нашої держави.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано у відділі геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України. Більшість результатів отримано при виконанні науково-дослідних держбюджетних тем: № 0117U002209 «Трансформація сполук важких металів у компонентах довкілля урбанізованих територій України», № 0118U003167 «Геохімія есенціальних елементів в природних і техногенних ландшафтах лісостепової зони України як основа біогеохімічного районування», № 0122U001573 «Розробка наукових засад комплексної еколого-геохімічної оцінки техногенно забруднених територій» та № 0123U100510 «Гідрогеохімія мікроелементів селітебних ландшафтів України як основа раціонального природокористування».

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – визначити закономірності розподілу мікроелементів (Pb, Mo, Cu, Zn, Li, V, Mn, Co, Ni, Cd, Sr, Ba, Cr, F, As, Ti, Sb, Al) у питних підземних водах основних водоносних системах України як основи еколого-біогеохімічного районування території держави, а також оцінити ризики для здоров'я місцевого населення.

Для досягнення мети було вирішено такі завдання:

а) розглянуто сучасний стан питних вод з позицій медичної мікроелементології, зокрема підземних вод;

б) запропоновано принципи еколого-біогеохімічного районування території України на основі сучасного екологічного, геохімічного та медико-гідрогеологічного районування;

в) виділено підземні водоносні системи України для подальшого дослідження на основі еколого-біогеохімічного районування, площі території, щільності населення, забезпеченості питними підземними водами та наявності у дослідника інформації;

г) виявлено особливості поширення мікроелементів, зокрема есенційних, у питних підземних водах виділених підземних водоносних систем України на основі наявних наукових публікацій, фондової інформації та власних даних лабораторних аналізів; запропоновано для таких водоносних систем орієнтовні фонові концентрації мікроелементів, зокрема есенційних;

д) на прикладі мангану досліджено форми міграції есенційних елементів у питних підземних водах та оцінено відповідні ризики для здоров'я населення на території виділених підземних водоносних систем України.

Об'єкт дослідження – питні підземні води основних водоносних систем України (водоносна система Українського щита, Дніпровсько-Донецька водоносна система, а також Причорноморська водоносна система).

Предмет дослідження – гідрогеохімічна характеристика, мікроелементний склад та форми міграції мангану у питних підземних водоносній системі Українського щита, Дніпровсько-Донецької водоносній системі та Причорноморської водоносній системі.

Методи дослідження. При виконанні роботи було здійснено збір та узагальнення наявних літературних, фондових та аналітичних даних щодо закономірностей розподілу мікроелементів у питних підземних водах. Було застосовано широкий спектр лабораторних досліджень відібраних проб води: потенціометричний, фотометричний, титриметричний та гравіметричний аналіз, аналітичні дослідження з визначення форм міграції мангану у питних підземних водах, метод мас-спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS).

Під час виконання дослідження було використано системно-аналітичний, статистичний та картографічний методи досліджень. Також було виконано розрахунок форм міграції мангану у воді за допомогою термодинамічного моделювання (спеціалізований програмний комплекс Hydra&Medusa).

Наукова новизна одержаних результатів:

– вперше оцінено гідрогеохімічний стан питних підземних вод основних водоносних систем України з позицій медичної мікроелементології та виявлені фонові концентрації есенційних елементів з урахуванням антропогенного впливу;

– вперше для умовно чистих та техногенно забруднених територій України за допомогою аналітичних методів та термодинамічного моделювання із застосуванням логарифмів термодинамічних констант стійкості комплексних сполук визначено форми міграції мангану;

– вперше для територій основних водоносних систем України виконана оцінка неканцерогенного ризику вживання досліджених вод для здоров'я населення за безпороговим методом за такими мікроелементами як Mo, Cu, Zn, Pb, F та Mn;

– ґрунтуючись на отриманих даних щодо закономірностей розподілу мікроелементів у питних підземних водах основних водоносних систем України запропоновано нові принципи еколого-біогеохімічного районування з позицій медичної мікроелементології.

Практичне значення і впровадження отриманих результатів. Отримані при виконанні роботи результати у подальшому можуть слугувати основою для розробки системи еколого-гідрогеохімічного моніторингу техногенно забруднених територій. Реалізація такого моніторингу буде важливим кроком для досягнення нетоксичного середовища у рамках участі України у програмі захисту навколишнього природного середовища (далі за текстом – НПС) LIFE, до якої наша держава приєдналася, набувши статус кандидата на членство у Європейському Союзі. Отримані висновки можуть стати основою для оцінки техногенної трансформації хімічного складу питних підземних вод обстежених регіонів в умовах збройної агресії рф. Результати дослідження можуть бути використані господарюючими суб'єктами, управлінськими та природоохоронними організаціями при екологічній оцінці компонентів НПС територій України, що зазнають техногенного навантаження.

Результати дисертаційної роботи використані при виконанні здобувачем науково-дослідних робіт під час роботи у відділі геохімії техногенних металів та аналітичної хімії Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка Національна академія наук України. Результати використовуються в освітньому процесі при викладанні на кафедрі гідрології та інженерної геології Науково-навчального інституту «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка (підтверджено відповідним актом впровадження).

Особистий внесок здобувача полягає у наступному (в квадратних дужках відмічені публікації відповідно до списку опублікованих праць за темою дисертації): 1) відборі зразків води, статистичній обробці гідрогеохімічної інформації, побудові графіків, гістограм, формулюванні висновків [1, 3, 5, 7, 9–11, 14–16, 21, 26–30, 34, 44, 50], 2) ґрунтовному аналізі літературних даних та опрацюванні методики відбору дослідних зразків [8, 11, 13, 18, 24, 32, 33, 36, 40, 46, 50], 3) графічній обробці експериментальних даних [4, 15, 19, 21, 25, 46, 47, 49, 52], 4) математичній обробці одержаних аналітичних матеріалів та їх інтерпретації [15–17, 20, 21, 31–33, 38, 47, 52], 5) зборі та узагальненні фондових матеріалів [6, 15, 18–20, 24, 25, 31, 37, 38, 47, 49, 52].

Апробація матеріалів дисертації. Основні положення дисертації було обговорено на наукових семінарах відділу геохімії техногенних металів та аналітичної хімії ІГМР НАН України, на засіданнях вченої ради ІГМР НАН України, а також на 23 міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки», м. Київ, Національний університет харчових технологій (2015); Молодіжній науковій конференції «Сучасні напрями геологічних досліджень в Україні», м. Київ, Інститут геологічних наук НАН України (2015); 6th Joint EWA/JWSA/WEF Conference: The Resilience of the Water Sector, м. Мюнхен (2018); VI Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень», м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (2019); VI Науковій конференції з міжнародною участю «Гідрологія: наука, освіта, практика», м. Харків, Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна (2020); Міжнародній конференції «Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects», м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (2020, 2021);

Міжнародній науково-практичній конференції «Геологічне, гідрологічне та Біологічне різноманіття Полісся», м. Рівне, Національний університет водного господарства і природокористування (2020); Міжнародній конференції «Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment», м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (2020, 2021, 2022, 2023); XXII Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія. Людина. Суспільство», м. Київ, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (2021); Всеукраїнській науковій конференції «Геологічна наука в незалежній Україні», м. Київ, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М.П. Семененка НАН України (2021); Міжнародній науково-практичній конференції «Геохімія техногенезу: виклики XXI століття», м. Київ, Державна установа «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України» (2022); XIII Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів та молодих вчених «Наукова весна», м. Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (2023); X Міжнародній науковій конференції «Актуальні проблеми дослідження довкілля», м. Суми, Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка (2023); Всеукраїнській науковій конференції: «Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання. До 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського», м. Київ, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (2023); 2nd Global Summit on Advances in Earth Science and Climate Change, м. Лондон (2023); Всеукраїнській конференції «Від Мінералогії і Геогнозії до Геохімії, Петрології, Геології та Геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI – 2023), м. Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка (2023); Всеукраїнській молодіжній науковій конференції «Геологічна будова та корисні копалини України», м. Київ, Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України (2023), International scientific conference «Health-promoting mineral water of the Solankova Dolina – Ciechocinek 2024», Ciechocinek, Poland (2024).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 52 друкованих працях, з яких: 1 розділ у колективній монографії, 2 статті у закордонних рецензованих виданнях геолого-природничого профілю, у тому числі – одна стаття у виданні, віднесеного до третього квартилю (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal, 12 робіт у фахових виданнях, що індексуються в міжнародних наукових базах даних Scopus та Web of Science, 6 статей у наукових фахових виданнях України за спеціальністю, затверджених МОН, 28 тез і матеріалів наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел (239 найменувань літератури) і одного додатку, має 51 рисунок і 38 таблиць. Загальний обсяг роботи – 337 сторінок.

Авторка щиро вдячна за консультації та допомогу своєму науковому консультанту – доктору геологічних наук, професору Кураєвій І.В., академіку НАН України, доктору геологічних наук, професору Пономаренку О.М. та члену-кореспонденту НАН України, доктору геологічних наук, професору Степанюку Л.М. Особлива подяка за цінні поради та зауваження члену-кореспонденту НАН України, доктору геолого-мінералогічних наук, професору Жовинському Е.Я., доктору геологічних наук, професору Крюченко Н.О., доктору геологічних наук, старшому науковому

співробітнику Верховцеву В.Г., доктору геолого-мінералогічних наук, старшому науковому співробітнику Тарану М.М., доктору геологічних наук, старшому досліднику Сукачу В.В., кандидату геолого-мінералогічних наук Дудіку О.М., кандидату геолого-мінералогічних наук Снісарю В.П.

Авторка дякує своїм колегам по відділу – Лемеш Л.В. та Дерюгінній О.В., а також колективу лабораторії ІСР-MS аналізу Швайці І.А., Швайці І.Д., Проскурці Л.І., без допомоги яких неможливо було б виконати великий обсяг аналітичних вимірів.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання, перераховано основні методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, відображено зв'язок із науковими програмами і темами, апробацію результатів дисертації на конференціях і в публікаціях.

У **першому розділі «Сучасний стан водних ресурсів та підходи до гідрогеологічного та гідрогеохімічного районування території України»**, ґрунтуючись на вітчизняних літературних джерелах, виконано аналіз методичних розробок та прийомів щодо оцінки наявного стану водних ресурсів нашої держави, зокрема підземних вод, які використовуються для забезпечення потреб питного водопостачання населення. Надано порівняння старих та сучасних підходів відносно виділення гідрогеологічних структур першого порядку, охарактеризована регіональна гідрогеохімічна специфікація території України.

Наведено відомості про кількісні характеристики водних ресурсів України, одержані різними вітчизняними вченими протягом останніх років.

Найбільш актуальна і достовірна інформація про водні ресурси України (зокрема про їх обсяги та узагальнений хімічний склад) на сьогодні містяться в роботах В.К. Хільчевського, В.І. Осадчого, С.М. Курило (Хільчевський, Осадчий & Курило, 2019; Хільчевський, 2021).

За даними В.К. Хільчевського (Хільчевський, 2021), загальні відновні водні ресурси України становлять 175,3 км³ на рік, з яких 97 % формується за рахунок поверхневого річкового стоку і лише 3 % (5 км³) за рахунок підземних вод.

Невід'ємною загальною складовою водних ресурсів є підземні води. Розподіл підземних водних ресурсів на території держави нерівномірний: 65 % зосереджено у північній та північно-західній частинах (Дніпровсько-Донецький та Волино-Подільський артезіанські басейни). Південна частина України має обмежені ресурси підземних вод. Найбільші прогностичні ресурси підземних вод зосереджені у басейні Дніпра – 61 %, Сіверського Донця – 12, Дністра – 9, Південного Бугу – 0,5 %. Водночас розвіданість їхніх запасів лише в басейні Сіверського Донця становить близько 50 %, а в інших – менше ніж 30 %, зокрема у басейні Дніпра – лише 20 %.

У розрахунку на одного мешканця найбільша кількість підземних вод (5,54 м³/добу) припадає на Чернігівську область, а найменша (0,28-0,43 м³/добу) – на Дніпропетровську, Одеську, Кіровоградську, Донецьку, Миколаївську, Житомирську та Вінницьку області.

Сумарні розвідані експлуатаційні ресурси підземних вод становлять 5,0 млрд м³/рік (15,6 млн м³/добу), що становить 26 % від прогнозних ресурсів підземних вод. Видобуток підземних вод в Україні у 2019 р. становив 2599,2 тис. м³/добу, що становить 4 % від суми прогнозних ресурсів підземних вод.

Підземні води становлять 13,8 % у загальному водоспоживанні держави і використовуються переважно для господарсько-питного водопостачання, сільського господарства та для виробничо-технічних цілей.

Водночас спостерігається тенденція до зниження відбору підземних вод для господарсько-побутового використання, яка спричинена зниженням економічної активності чи погіршенням якості підземних вод. Наприклад, протягом 2001–2014 рр. використання підземних вод для цих цілей знизилось на 49,6 % (Сніжко, Шевченко & Дідовець, 2021).

Одним із лімітуючих факторів споживання водних ресурсів є їх якість. Об'єм стічних вод, що надходить у поверхневі водні об'єкти України перевищує 5 км³ (Сніжко, Шевченко & Дідовець, 2021), що становить 10,7 % ресурсів поверхневого водного стоку, який формується на території України.

Підземні води теж мають обмежене використання, оскільки їм притаманна висока мінералізація. Наприклад, у Херсонській області внаслідок інтенсивної та тривалої експлуатації Херсонського родовища, водопостачання центральної й більшості частин міста Херсон здійснюється некондиційними водами верхньосарматських відкладів неогену, з мінералізацією понад 1500 мг/дм³ і вмістом нітратів та амонію, що перевищує ГДК (Стан підземних вод..., 2020).

Здобувач відмічає, що в останні десятиліття дослідники практично не приділяли уваги питанням сприятливого впливу води та її захисним властивостям з огляду на мікроелементний склад. Традиційно в нашій країні підходять до оцінки якості підземних вод, орієнтуючись на величини гранично допустимих концентрацій. При цьому аналізуються у першу чергу макрокомпоненти – катіони та аніони. Однак цей підхід є недостатнім для коректної оцінки стану та якості досліджуваних зразків води. За сучасних умов, коли набули розвитку високоточні лабораторні методи аналізу, виникла необхідність здійснити перехід від існуючої системи оцінки якості питної води за принципом «відповідає – не відповідає» до можливості встановлення кількісних та якісних характеристик шкідливих ефектів для здоров'я населення, обумовлених впливом екологічного стану джерел питного водопостачання. Зважаючи на вищевикладене, здобувач вважає за потрібне виконувати оцінку якості питних підземних вод з позицій медичної мікроелементології – молодого наукового напрямку, який знаходиться на перетині таких дисциплін як гідрогеологія, геохімія, аналітична хімія та медицина. Це необхідно для встановлення потенційних загроз та ризиків, пов'язаних із вживанням води, незбалансованої за мікроелементним складом.

Авторка наводить опис гідрогеологічних структур першого порядку, виділених згідно структурно-гідрогеологічного підходу, запропонованого В.М. Шестопаповим. Цей сучасний принцип гідрогеологічного районування базується на тому, що головною ознакою виділення гідрогеологічних структур є єдність колекторських особливостей водовмісних порід і їхнє співвідношення з роздільними утвореннями, а також наявність підземних вод для задоволення потреб населення.

Надано розлогий опис основних гідрогеологічних та гідрохімічних характеристик водоносних систем, які детально розглядаються у спеціальній (розрахунковій) частині дисертаційного дослідження.

За сучасним районуванням на території України виділяють 10 гідрогеологічних регіонів або водоносних систем (ВС) першого порядку, для кожного з яких притаманні свої особливості геолого-гідрогеологічного розрізу порід та регіональні закономірності гідрогеологічних, зокрема гідрохімічних умов (рис. 1).

Безпосередньо у дисертаційному дослідженні розглядається 3 водоносні системи: Дніпровсько-Донецька, Українського щита та Причорноморська. З адміністративної точки зору цим регіонам відповідають Житомирська, Вінницька, Київська, Черкаська, Кіровоградська, Дніпропетровська, Чернігівська, Сумська, Полтавська, Харківська, Запорізька, Херсонська, Миколаївська області, частково – Одеська область та Автономна республіка Крим. На цій території проживає близько 26 млн. 570 тис. людей (за даними на початок 2022 року). Вибір саме цих систем обумовлений тим, що на них припадає 65 % населення України, за своєю площею вони займають 60 % нашої держави. Також на них припадає 70 % прогнозних ресурсів підземних вод України.



Рисунок 1 – Схематична карта сучасного гідрогеологічного районування України з позначенням територій, в межах яких відбиралися зразки підземних вод, складена за (Шестопалов, Лютий & Саніна, 2019; Хільчевський, Осадчий & Курило 2019): 1 – Закарпатська ВС, 2 – Карпатська ВС, 3 – Передкарпатська ВС, 4 – Волино-Подільська ВС, 5 – ВС Українського щита, 6 – Дніпровсько-Донецька ВС, 7 – Донбаська ВС, 8 – Причорноморська ВС, 9 – Північнодобрудзька ВС, 10 – ВС Гірського Криму

Охарактеризовано принципи районування території України за регіональними особливостями хімічного складу підземних вод.

Окреслено основні фактори (переважно природні), що чинять вплив на формування хімічного, зокрема мікроелементного складу, глибинних артезіанських та ґрунтових вод – кліматичні особливості території, склад покривних відкладів (для ґрунтових вод), глибина промитості інфільтраційними водами, крутизна гідравлічних ухилів, змішування з рештками метаморфізованих і розбавлення давніх вод, вилуження солей із водовмісних порід, обмінні реакції (за участю газових компонентів, радіоактивного розпаду, підземного випаровування). Особливу увагу приділено неотектонічному фактору (коливальні, складчасті та розривні тектонічні рухи) у процесах геохімічної міграції хімічних елементів та їх сполук між водоносними горизонтами та комплексами. Наголошено на тому, що водоносні комплекси зони активного водообміну отримують додаткове живлення у межах тектонічних структур, де вони гідравлічно пов'язані із високомінералізованими глибинними водами. При цьому трансформація хімічного складу вод активізується в умовах техногенного впливу на підземні води за рахунок таких процесів: інтенсифікація водовідбору підземних вод; зміни гідродинамічних умов водоносних комплексів унаслідок нарощування мережі водозаборів; утворення регіональних депресійних воронко експлуатаційних водоносних комплексів, накладання яких створює синергетичний ефект (Левонюк & Удалов, 2018).

Варто зазначити, що досі немає єдиної думки щодо шляхів формування складу підземних вод глибинних водоносних горизонтів у кожному з гідрогеологічних регіонів. Різні погляди на процеси формування підземних вод України викладено у працях А.Є. Бабинця (Бабинец, 1961), Б.І. Куделіна, В.М. Шестопалова зі співавт. (Шестопалов, 1981; Шестопалов, Ситников & Лялько, 1988; Шестопалов, Лялько & Дробноход, 1989; Шестопалов, Огняник & Дробноход; 1991; Шестопалов, Руденко & Гудзенко, 2001), А.О. Сухореброго (Сухоребрый, 1999), Г.Г. Лютого, С.М. Левонюка (Левонюк & Удалов, 2018) та ін.

За якістю підземних вод територію України можна поділити на регіони, для кожного з яких існує відповідна специфікація, обумовлена насамперед геологічними чинниками (Рудько, 2015). Регіональна природна специфікація контролюється як природними умовами, так і їх техногенними змінами. У відповідності до цієї класифікації, в межах України виділяються наступні регіони (за типом організації геологічного середовища як чинника формування хімічного складу підземних вод): Закарпатський внутрішній прогин, Передкарпатський передовий прогин, Карпатська гірськоскладчаста область, Південно-західна окраїна Східноєвропейської платформи, Причорноморська западина, Дніпровсько-Донецька западина, Донбас та Український щит,

Відмічається, що в останні десятиліття дослідники практично не приділяли уваги питанням сприятливого впливу води та її захисним властивостям з огляду на мікроелементний склад, бо їх увага була зосереджена переважно на екологічних проблемах забруднення вод. Проте за гострого дефіциту будь-якого елемента навіть відносно мала кількість його у воді може зіграти значну роль: речовини у воді розчинені і переважно знаходяться у формі іонів, тому значно легше адсорбуються в організмі людини, ніж із продуктів харчування, де вони зв'язані в різні сполуки.

Позитивними з цього погляду є дослідження фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води та мінімально необхідного складу питної води, отриманої в результаті очищення (демінералізації).

Описані у розділі регіональні особливості хімічного складу підземних вод послуговували для здобувача основою для розробки нових принципів еколого-біогеохімічного районування з позицій медичної мікроелементології, викладених у розділі 4 дисертаційного дослідження.

Другий розділ «Наукові засади медичної мікроелементології та підземні води» містить розлогий огляд літературних джерел щодо сучасного і відносно молодого наукового напрямку – медичної геології, та його важливої складової – медичної мікроелементології. Проаналізовано наявну інформацію щодо участі мікроелементів, присутніх у питних підземних водах, у фізіологічних процесах організму людини.

Описано сучасні уявлення про біологічну значимість хімічних елементів, зокрема мікроелементів, у процесах, які протікають в живих організмах, у зв'язку з їх біодоступністю при надходженні з питною водою.

Екологічна оцінка мікроелементного складу компонентів НПС в наш час стає невід'ємною частиною охорони природи та раціонального природокористування. Мікроелементи відіграють чітко виражену біологічну роль, що обумовлене їх участю у фізіологічних процесах живих організмів. Загалом варто відмітити, що наразі єдиною загальноприйнятою класифікації мікроелементів за їх біологічною значимістю для організму людини немає. Тому один і той самий елемент за однією класифікацією може вважатися есенційним (біологічно значимим), а за іншою – ні. Порівняння підходів різних фахівців стосовно визначення хімічних елементів як есенційних, представлено у табл. 1.

Таблиця 1 – Есенційні елементи за сучасними класифікаціями

За О.В. Скальним (16 елементів) (Скальный & Рудаков, 2004)	За О.П. Авциним (15 елементів) (Авцын, Жаворонков, Риш & Строчкова, 1991)	За О.В. Івановим (9 елементів) (Іванов, Тафеева, Давлетова & Вавашкин, 2012)	За О.О. Сініциною (12 елементів) (Синицына, Плитман, Амплеєва, Гильденскиольд & Ряшенцева, 2010)
Fe, Cu, Zn, Mn, Co, I, Mo, V, Ni, Cr, F, Se, Si, Sn, B, As	Fe, I, Cu, Zn, Co, Cr, Mo, Ni, V, Se, Mn, As, F, Si, Li	Fe, Cu, Zn, Mn, Cr, Se, Mo, Co, I	H, O, N, C; Ca, Cl, F, K, Mg, Na, P, S

Вивченню проблеми забруднення питних підземних вод, а також впливу надлишку чи нестачі мікроелементів на здоров'я населення, що їх споживає, присвячено низку вітчизняних та закордонних публікацій (Авцын & Жаворонков, 1991; Лютай, 1992; Рудько, 2012; Левонюк, 2023; Golekar, Patil & Baride, 2013; Мезенцева, Батиченко & Мезенцев, 2018; Hussain, Habib-Ur-Rehman, Khanam, Sheer, Kebin & Jianjun, 2019). Однак у літературі мало уваги приділяється оцінці відмінностей мікроелементного складу питних підземних вод в межах різних гідрогеологічних регіонів у зв'язку зі структурно-геологічними, а також геохімічними особливостями досліджуваних територій. Слід зауважити, що кількість публікацій, які містять практичні дані щодо багаторічної динаміки показників хімічного складу підземних вод, є незначною.

Наразі відбувається трансформація наших поглядів та уявлень щодо біологічної ролі, яку мікроелементи відіграють у фізіологічних процесах. Нині серед фахівців навіть немає єдиної думки стосовно превалюючого джерела надходження есенційних елементів до організму людини. У кожній новій редакції Методичних рекомендацій щодо якості питної води, які на регулярній основі видаються ВООЗ, ґрунтуючись на актуальних клінічних дослідженнях, оновлюється інформація про відсоток засвоєння того чи іншого мікроелементу людським організмом, залежно від того, чи надійшов він разом з продуктами харчування, атмосферним повітрям чи питною водою. Наразі встановлено, що для більшості елементів основним джерелом є продукти харчування, однак останні дані свідчать, що, наприклад, Mn надходить переважно з водою (через цей факт у роботі приділено особливу увагу цьому елементу, про що детальніше йде мова у розділі 5). Також існує думка про те, що саме з води мікроелементи засвоюються організмом краще, ніж з їжею. У будь-якому разі, безперечним є той факт, що питна вода, яку людина вживає на постійній основі, є вагомим джерелом надходження біологічно значимих елементів. Як було згадано у попередньому розділі, чимала частка регіонів України використовує підземні води як головне джерело питного водопостачання, особливо це є актуальним для сільської місцевості. Зважаючи на це, здобувач вважає за доцільне зосередити увагу на вивченні гідрогеохімії мікроелементів крупних водоносних систем нашої держави, на які припадає лівова частина прогнозних ресурсів підземних вод.

Авторка вважає застарілим підхід, згідно якого концентрації мікроелементів у воді оцінюються лише з точки зору перевищення їх ГДК, регламентованих нормативними документами. Останні публікації ВООЗ свідчать про високу ймовірність виникнення ряду захворювань саме через нестачу есенційних елементів у воді. Раніше врахування цього фактору було вельми складним завданням, оскільки рівень лабораторних вимірювань не дозволяв виявляти хімічні елементи у воді у мікроконцентраціях. Наразі ми спостерігаємо бурхливий розвиток технологій, зокрема в області аналітичних вимірювань. Високоточні методи аналізу, зокрема метод ICP-MS (мас-спектрометрія з індуктивно зв'язаною плазмою) дозволяє вирішити цю проблему, адже дає можливість встановлювати концентрації елементів з точністю 10^{-4} - 10^{-5} мг/дм³ з відносно невеликою похибкою $\delta \leq 3\%$.

Варто наголосити також на важливості встановлення форм міграції мікроелементів у природних водних розчинах, адже науковцями було встановлено факт про те, що форма знаходження елементу у воді значною мірою впливає на його біодоступність та біозасвоюємість. Як правило, елементи найкраще засвоюються організмом у вільній, іонній формі. Дослідники встановили, що неорганічні природні речовини, які знаходяться у воді активному дисоційованому стані, помітніше впливають на біологічний організм. Однак у природних водних розчинах один і той самий елемент може існувати у вигляді комплексних сполук, поєднуючись як з органічними, так і з неорганічними лігандами. Форми існування елементу у воді значною мірою залежать від рН, Eh водного середовища, мінералізації, вмісту основних катіонів та аніонів. Докладніше це питання розглянуто у розділі 5.

Авторка торкається питання нормування концентрацій мікроелементів у воді, придатній для питного споживання, а також встановлення кореляційних зв'язків між хімічним складом підземних вод та показниками захворюваності населення.

Підкреслено, що численні спроби науковців встановити залежність між гідрохімічними особливостями питних вод та показниками захворюваності населення, яке ці води вживає, не дають однозначного результату. Розбіжності у встановлених різними дослідженнями закономірностей, які подекуди протирічать одне одному, говорять про складність виокремлення гідрохімічного фактору серед інших чинників, які впливають на фізіологічні процеси. Це питання неможливо вирішити без комплексного підходу і потребує залучення фахівців не тільки з області гідрогеології, геохімії, але і фізіології та медицини. Вплив мінерального складу води на здоров'я людини є фактором малої інтенсивності, він не є ізольованим та реалізується протягом тривалого періоду часу, йому притаманна інерційність, що ще більше ускладнює вирішення поставленої задачі. Крім того, високі темпи техногенезу, які наразі проявляються в усіх компонентах геологічного середовища, створюють додаткові труднощі при діагностиці мікроелементозів. Перераховані фактори, на думку авторки, зумовлюють потребу у застосуванні іншого підходу при оцінці впливу хімічного складу води, зокрема мікроелементного, на організм людини. Це – прогнозування виникнення патологій за допомогою використання методів обрахунку потенційних ризиків (більш детально ця методика описана у розділі 4).

Здобувач наголошує на необхідності використання європейського досвіду при виконанні екологічних оцінок стану підземних джерел водопостачання. Головним нормативним документом на заході наразі є Водна рамкова директива ЄС, вимог яких Україна зобов'язалася дотримуватися. В основі цього документу є підхід, згідно якого робиться наголос на необхідності збереження водного джерела у тому природному стані, в якому воно перебувало протягом останніх десятиліть, і до якого не одне покоління місцевого населення встигло адаптуватися. Європейський принцип не вимагає строгої відповідності концентрацій хімічних елементів у воді заданому діапазону значень. Враховуються локальні гідрогеохімічні особливості конкретного регіону, до яких люди фізіологічно пристосувалися у процесі еволюції. Тому авторка підкреслює необхідність у перегляді та вдосконаленні вітчизняних нормативно-правових актів, державних санітарних норм і правил, стандартів та інших нормативних документів у сфері питного водопостачання, у тому числі за рахунок розробки регіональних стандартів якості питної води. У цьому ключі важливим є встановлення фонових концентрацій мікроелементів, особливо біологічно значимих, у питних підземних водах окремих гідрогеологічних регіонів України. Авторкою було виконано таке дослідження для Дніпровсько-Донецької ВС та ВС Українського щита (представлено у розділі 4, підрозділі 4.1 дисертаційного дослідження).

Третій розділ «Еколого-гідрогеохімічні особливості поширення мікроелементів в умовно чистих та антропогенно порушених селітебних ландшафтах України» присвячено вивченню особливостей хімічного складу, зокрема мікроелементного, питних підземних вод, що використовуються населенням ряду регіонів України для задоволення господарсько-питних потреб.

Представлено результати аналізу гідрогеохімічних особливостей поверхневих та підземних вод Дніпровсько-Донецької водоносної системи, а також питних підземних вод водоносної системи Українського щита на прикладі таких територій як Київська промислово-міська агломерація, Коростишівський район Житомирської області та с. Вінницькі хутори Вінницької області.

Виконано попередню оцінку еколого-геохімічного стану поверхневих (на прикладі озер Сонячне, Нижній Тельбін та Вирлиця), ґрунтових (в межах заплави долини р. Дніпро на острові Водників) та глибинних артезіанських (на прикладі чотирьох бюветів) вод м. Києва, окресленню основних екологічних проблем обраних компонентів НПС та пошуку шляхів їх вирішення.

Водозбір з р. Дніпро, його заплави, а також русла колишніх річок за гідрографічними особливостями поділяють на 4 основні групи. До першої, найбільш багаточисельної, відносять озера, генетично пов'язані із заплавою Дніпра. Це більшість лівобережних водойм, таких як озера Тельбін, Нижній Тельбін, Сонячне, Вирлиця та інші. Ці водойми перетворені у водні об'єкти переважно дощового живлення, тому якість їх води залежить від якісного складу поверхневого стоку.

Озеро Нижній Тельбін за якісними властивостями води, донних відкладів та рослинності відноситься до стабільно забрудненої промисловими відходами. У цілому вода має нормальну мінералізацію (0,1–0,5 мг/дм³), помірно жорстка (5,0–5,5), помірно лужна (7,2–8,0), за типом вода гідрокарбонатно-хлоридно-сульфатна кальцієво-натрієво-магнієва. За хімічним складом вода в озері гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна кальцієво-натрієво-магнієва, перевищення рівнів забруднення води спостерігається по важких металах (Ba – 5 ГДК, Pb – до 3,5 ГДК, Mn – до 8,3 ГДК, Ti – до 7,7 ГДК). Крім того спостерігаються стабільні значні перевищення ГДК забруднення донних відкладів, наприклад, по свинцю до 100 ГДК.

Озеро Сонячне характеризується помірним стабільним забрудненням. За хімічним складом вода озера гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридна кальцієво-магнієво-натрієва. Перевищення ГДК спостерігається по Ba, Mn та Mg. Органічне забруднення (сполуки азоту) носить суто сезонний характер – підвищене влітку.

З метою оцінки забруднення поверхневих водойм було визначено кратність перевищення ГДК за основними мікроелементами. Для озера Сонячне кратність перевищення ГДК за Ba становить 1,2–2,0, за Mn – 1,7–2,6, за Sb – 3,0–6,2. Для озера Нижній Тельбін кратність перевищення ГДК за Al – 6,0–7,0, за Fe – 3,0–4,0, за As – 0,8–0,9, за Mn – 0,5–1,0, за Ba – 1,6–1,8, за Sb – 3,5–4,6. На підставі оцінки кратності перевищення ГДК можна класифікувати забрудненість обстежених водойм за хімічними показниками води (вмістом окремих елементів) наступним чином: озеро Сонячне належить до помірно забруднених, а озеро Нижній Тельбін – до забруднених водойм.

У 2021 році було досліджено загальний хімічний склад та вміст мікроелементів у зразках води з 20 колодязів глибиною до 17 м, що розкривають ґрунтові води. Колодязі знаходяться в межах заплави р. Дніпро (о-в Водників).

За своїм хімічним складом досліджувані ґрунтові води є гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридними натрієво-кальцієвими, перевищення рівнів забруднення води спостерігається по окремим елементам (Ba – до 1,6 ГДК, Mn – до 5 ГДК, Fe – до 16,3 ГДК, перманганатна оксинюваність – до 2,6 ГДК, NO₃ та Ni – на рівні ГДК).

Порівняння хімічного складу поверхневих та ґрунтових вод дало змогу виявити, що найбільші концентрації Fe та Mn характерні для ґрунтових вод, що обумовлено тісним гідравлічним зв'язком з р. Дніпро, а також особливостями геологічної будови водовмісної товщі (водоносний горизонт у відкладах канівської і бучацької серій

еоцену, регіонально витриманий в межах досліджуваної території, також характеризується підвищеними концентраціями заліза).

У червні 2023 року додатково було проведено пробовідбір зразків води з окремих бюветів Дарницького району м. Києва та озера Вирлиця.

З гідрогеологічної точки зору досліджувана територія належить до північно-західного схилу Дніпровсько-Донецької водоносної системи. Обстежені свердловини, розташовані на вул. Ревуцького та Харківському шосе, експлуатують водоносний комплекс у відкладах іваницької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світ нижньої та верхньої крейди ($J_{2-3iv} + K_{1-2zg-br}$) (далі за текстом – сеноман-келовейський водоносний комплекс), який приурочений до пісків, пісковиків з прошарками вапняків, кременів, глин, алевритів, мергелів. Свердловина, розташована у парку Партизанської слави, експлуатує водоносний горизонт у відкладах орельської світи середньої юри (J_{2or}) (далі за текстом – байоський водоносний горизонт), приурочений до пісків різнозернистих із прошарками глин та лінзами бурого вугілля.

Мікроелементний склад досліджених підземних вод графічно представлений на рис. 2.

Озеро Вирлиця. За хімічним складом вода є гідрокарбонатно-хлоридною магнієвою натрієво-калієвою. Результати оцінки якості води (згідно ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання») за блоком загальносанітарних хімічних показників характеризували досліджені води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{II\text{ сер.}} = 2$, клас 2) як «добрі», чисті води прийнятної якості. Суттєвих відмінностей у хімічному складі зразків, відібраних на різних ділянках, не спостерігається. Виключенням є вміст сульфатів, вміст яких поблизу заводу «Енергія» майже удвічі більший, ніж поблизу міського пляжу, а також концентрація загального Fe, вміст якого поблизу пляжу знаходиться на межі ГДК. Перевищення допустимих концентрацій зафіксовано для Mn Cu.

Підземні води. За хімічним складом води є гідрокарбонатно-сульфатними магнієво-кальцієвими. За блоком загальносанітарних хімічних показників за середніми значеннями блокового індексу ($I_{II\text{ сер.}} = 2$, клас 3) є «добрими», чистими з ухилом до класу «задовільних», слабо забруднених вод прийнятної якості. Перевищень ГДК за макро- та мікроелементами не зафіксовано, натомість є перевищення допустимих нормативів за показником лужності, величина жорсткості – на рівні гранично допустимого значення. Найвищі вмісти мікроелементів, зокрема важких металів, фіксуються у бюветах, що розташовані на вул. Ревуцького, найменші – на Харківському шосе. Підвищені, у порівнянні з іншими бюветами, вмісти V, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn та Pb у свердловинах, розташованих на вул. Ревуцького, авторка пов'язує з близьким розташуванням озера Сонячне, яке гідравлічно пов'язане з техногенним озером Гарячка, що в свою чергу являє собою шламонакопичувач Дарницької ТЕЦ.

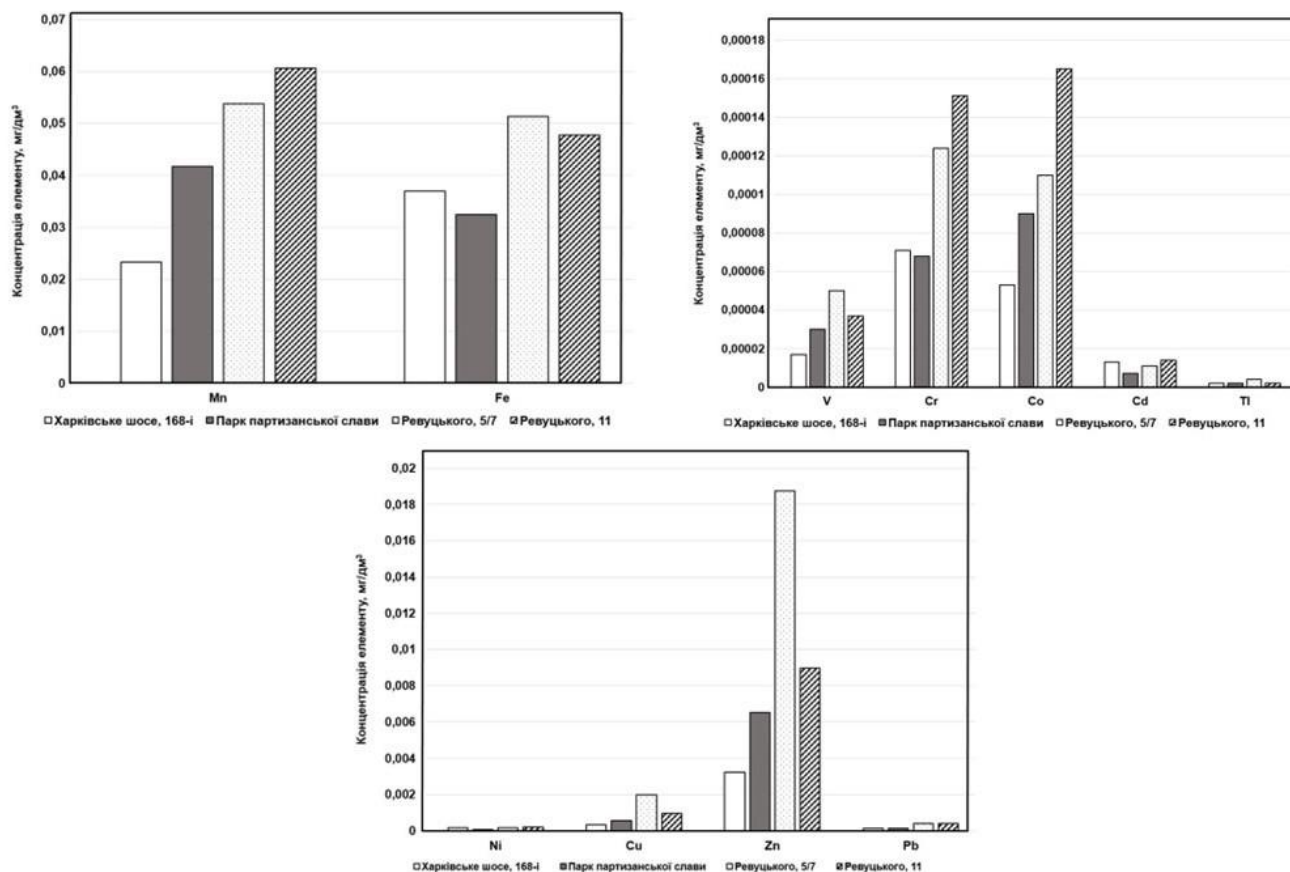


Рисунок 2 – Графік вмісту мікроелементів у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу та байоського водоносного горизонту

Представлено результати статистичної обробки вибірок з даними щодо мікроелементного складу бюветних вод м. Києва. З метою визначення особливостей розподілу ряду мікроелементів у питних підземних водах, поширених в межах Дніпровско-Донецької водоносної системи, були досліджені артезіанські водоносні горизонти Київського родовища підземних вод, які використовуються для питного водопостачання. Для дослідження було обрано такі еколого-формуючі мікроелементи як Pb, Mo, Cu та Zn. За допомогою статистичних методів було оброблено результати хімічного аналізу води для 123 бюветних свердловин, 68 з яких експлуатують сеноман-келовейський водоносний комплекс, а 55 – байоський водоносний горизонт. Результати статистичної обробки представлено на рис. 3 та у табл. 2.

У результаті проведених досліджень та розрахунків було виявлено, що у більшості випадків для вибірок мікроелементів закон розподілу встановити не вдалося. Логнормальний закон було встановлено для Cu у сеноман-келовейському водоносному комплексі та для Mo, Cu та Zn у байоському водоносному горизонті. Логнормальний закон вказує на те, що на концентрацію досліджуваного показника у воді переважно впливає один чинник (техногенного або природного походження) (Девис, 1990). Неможливість встановлення закону розподілу для решти вибірок можна пояснити нерівномірністю розподілу точок відбору проб по площі або територіальною приналежністю бюветів до різних геоморфологічних районів м. Києва.

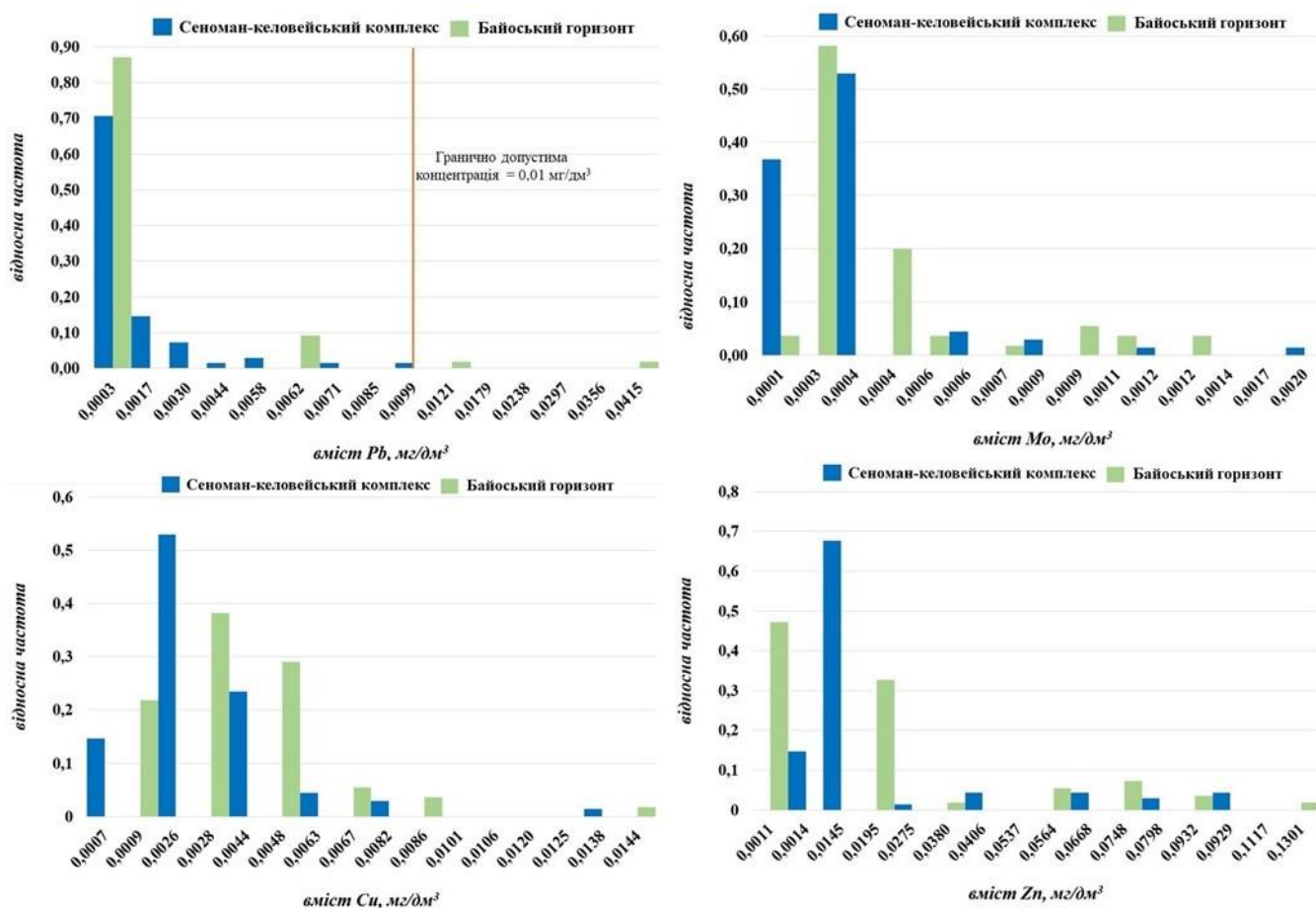


Рисунок 3 – Гістограми розподілу Pb, Mo, Cu та Zn у бюветній воді м. Києва

Таблиця 2 – Результати статистичного аналізу даних щодо вмісту важких металів у бюветній воді м. Києва

сеноман-келовейський комплекс	Середнє, мг/дм ³	Медіана, мг/дм ³	Мода, мг/дм ³	Максимум, мг/дм ³	Мінімум, мг/дм ³	ГДК (за ДержСанПІН 2.2.4-171-10)
Pb	0,0014	0,0007	0,0007	0,01	0,0003	0,01
Mo	0,0003	0,0003	0,00025	0,002	0,0001	0,07
Cu	0,0033	0,003	0,002	0,014	0,0007	1
Zn	0,0198	0,01	0,008	0,094	0,0014	1
байоський горизонт						
Pb	0,002	0,001	0,0005	0,04	0,0003	0,01
Mo	0,0004	0,0003	0,0002	0,001	0,0001	0,07
Cu	0,004	0,003	0,002	0,014	0,001	1
Zn	0,024	0,012	0,008	0,126	0,001	1

У середньому, концентрації важких металів у байоському водоносному горизонті є більшими, ніж у сеноман-келовейському комплексі, що залягає вище. На думку авторки, це може бути пов'язане з природним чинником – у водовміщуючих породах байоського горизонту зустрічаються лінзи бурого вугілля (чорного лігніту), яке потенційно може містити домішки важких металів у своєму складі. Також свинець може надходити за рахунок висхідної фільтрації з водоносного горизонту у відкладах дронівської і сребрянської світ нижнього тріасу, що залягає на глибинах 300–350 м і характеризується строкатим хімічним складом.

У трьох досліджуваних бюветах було виявлено перевищення ГДК за Pb. Це свердловини, що розташовано у провулку Василя Жуковського, на вулиці Маршала Тимошенка та у житловому масиві Корчувате. За картою забруднення ґрунтів м. Києва важкими металами (Сидоренко & Приходько, 2006) ці бювети розташовано на ділянках міста з незначним та середнім рівнем сумарного забруднення, зокрема свинцем. Варто відмітити, що усі три бювети геоморфологічно знаходяться у долині р. Дніпро (на його правому березі), яка належить до зони поширення підземних вод, умовно захищених від забруднення з поверхні. Це обумовлено тим, що у цій зоні в геологічному розрізі виклинюються два потужних водотривких шари – водотривка товща строкатих та червоно-бурих глин міоцен-пліоцену та водотривка товща мергелів київської та обухівської світ еоцену, а також водоносні горизонти четвертинних, алювіально-делювіальних відкладів, алювіальних відкладів середнього неоплейстоцену та олігоцен-міоценових відкладів. Окрім того, уздовж долини р. Дніпро в сеноман-келовейському водоносному комплексі спостерігаються великі локальні воронки депресії.

Отримані результати пропонується використати для встановлення фонових значень вмісту Pb, Mo, Cu та Zn в артезіанських водоносних горизонтах Київського родовища питних підземних вод.

Наведено відомості про динаміку змін мікроелементного складу питних підземних вод в межах водоносної системи Українського щита протягом періоду спостережень, який охоплює 2017–2021 роки.

Вибір території досліджень обумовлений тим, що, згідно тенденцій динаміки різних видів захворювань, населення Житомирської області, поряд з Кіровоградською, Миколаївською, Харківською та Херсонською областями, відноситься до регіонів із переважанням негативних рис динаміки показників захворюваності (Мезенцева, Батиченко & Мезенцев, 2018). Для цих областей характерне зростання кількості випадків злоякісних новоутворень, серцево-судинних захворювань та хвороб органів дихання.

При виконанні дослідження використано результати власних польових досліджень, а також звітні матеріали щодо експлуатаційних запасів Коростишівського родовища питних підземних вод. У комплексі моніторингових досліджень якості підземних вод регіону з метою більш детального вивчення мікроелементного складу із залученням сучасних, більш чутливих, лабораторних методів, у липні 2020 та у серпні 2021 року було проведено відбір проб зразків води зі свердловин та криниць Коростишівського району Житомирської області, які використовуються місцевим населенням для питного водопостачання. Кожного року відбиралося по 15 зразків води з криниць та по 10 зразків зі свердловин, розташованих на присадибних ділянках приватних будинків. Основними водоносними горизонтами, що використовується для задоволення питних потреб місцевого населення є водоносний горизонт в алювіальних відкладах 1–2 надзаплавних терас верхнього неоплейстоцену ($a^{1-2}P_{III}$) та водоносний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їх кори вивітрювання (PR_1).

За методикою М.В. Барвиша та О.А. Шварца (Барвиш & Шварц, 2000) було визначено величини біологічно значимих концентрацій (далі за текстом – БЗК) основних фізіологічно значущих елементів для досліджуваних питних підземних вод.

Порівняння БЗК з вмістом мікроелементів та окремих мікроелементів, визначених при виконанні дослідження, надало змогу виявити особливості: у досліджуваних водах спостерігається надлишок таких елементів, як Sr та Ba. У достатній кількості присутній Sr. Натомість було виявлено недостатню кількість таких елементів, як Li, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd та Pb. Варто відмітити, що у 2021 році (у порівнянні з 2020 роком) концентрація Ni та Zn у обстежених водозабірних спорудах значно зросла – концентрація Ni зросла у 75 разів у колодязях та у 20 разів у свердловинах, концентрація Zn зросла у 9 разів у колодязях та у 3 рази у свердловинах. Ймовірно це явище пов'язано з тим, що водоносний горизонт в алювіальних відкладах, який експлуатується обстеженими колодязями, гідравлічно тісно пов'язаний з р. Тетерів, є незахищеним з поверхні, а відтак більше піддається забрудненню, ніж водоносний горизонт у тріщинуватій зоні кристалічних порід і їх кори вивітрювання, на який пробурені свердловини. Загалом, порівнюючи результати мікроелементного аналізу, виконаного у 2020 та 2021 роках, можна говорити про наявність тенденції до збільшення концентрацій досліджуваних мікроелементів у підземних водах, однак ця гіпотеза потребує уточнення за рахунок подальших моніторингових спостережень.

Авторкою було проаналізовано динаміку змін таких показників хімічного складу досліджуваних підземних вод: загальна мінералізація, вміст іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} та Cl^- . Період спостережень за коливаннями концентрацій вказаних показників охоплював березень 2017 – грудень 2019 рр. (Гребенюк & Цимбал, 2020). Було виявлено значиму кореляцію між концентраціями Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- та їх нормованими показниками за величиною водовідбору. Коефіцієнти кореляції Пірсона R склали, відповідно: для Mg^{2+} $R=0,82$; для SO_4^{2-} $R=0,63$; для Cl^- $R=0,76$.

З метою встановлення закономірностей зміни досліджуваних показників хімічного складу підземних вод у зв'язку з водовідбором, було побудовано графіки коливань нормованих показників за період 2017–2019 рр. (рис. 4).

Отримані результати показали, що у водоносному горизонті тріщинуватої зони кристалічних порід і їх кори вивітрювання при збільшенні водовідбору підвищується вміст мінеральних речовин, що свідчить про істотну роль антропогенного чинника при формуванні хімічного складу досліджуваних підземних вод.

Зважаючи на те, що місцеве населення вживає досліджувану воду постійно, і вона є основним джерелом надходження біологічно значущих хімічних елементів до організму, на даній території існують ризики виникнення ряду мікроелементозних захворювань. Зокрема, виявлені надлишкові концентрації Sr та Ba можуть спричинити виникнення так званої уровської хвороби (хвороби Кашина-Бека), що проявляється важкими ураженнями кістково-суглобового апарату – викривлення кісток, їх підвищена крихкість, болі у суглобах (Авцын, Жаворонков, Риш & Строчкова, 1991). Встановлені особливості мікроелементного складу підземних вод, що використовуються для питного водопостачання населення Коростишівського району Житомирської області, дозволили окреслити коло ймовірних негативних наслідків для здоров'я. Отримані результати можуть бути корисними для обґрунтування необхідності коригування раціону місцевих мешканців за рахунок додаткового використання вітамінно-мінеральних комплексів.

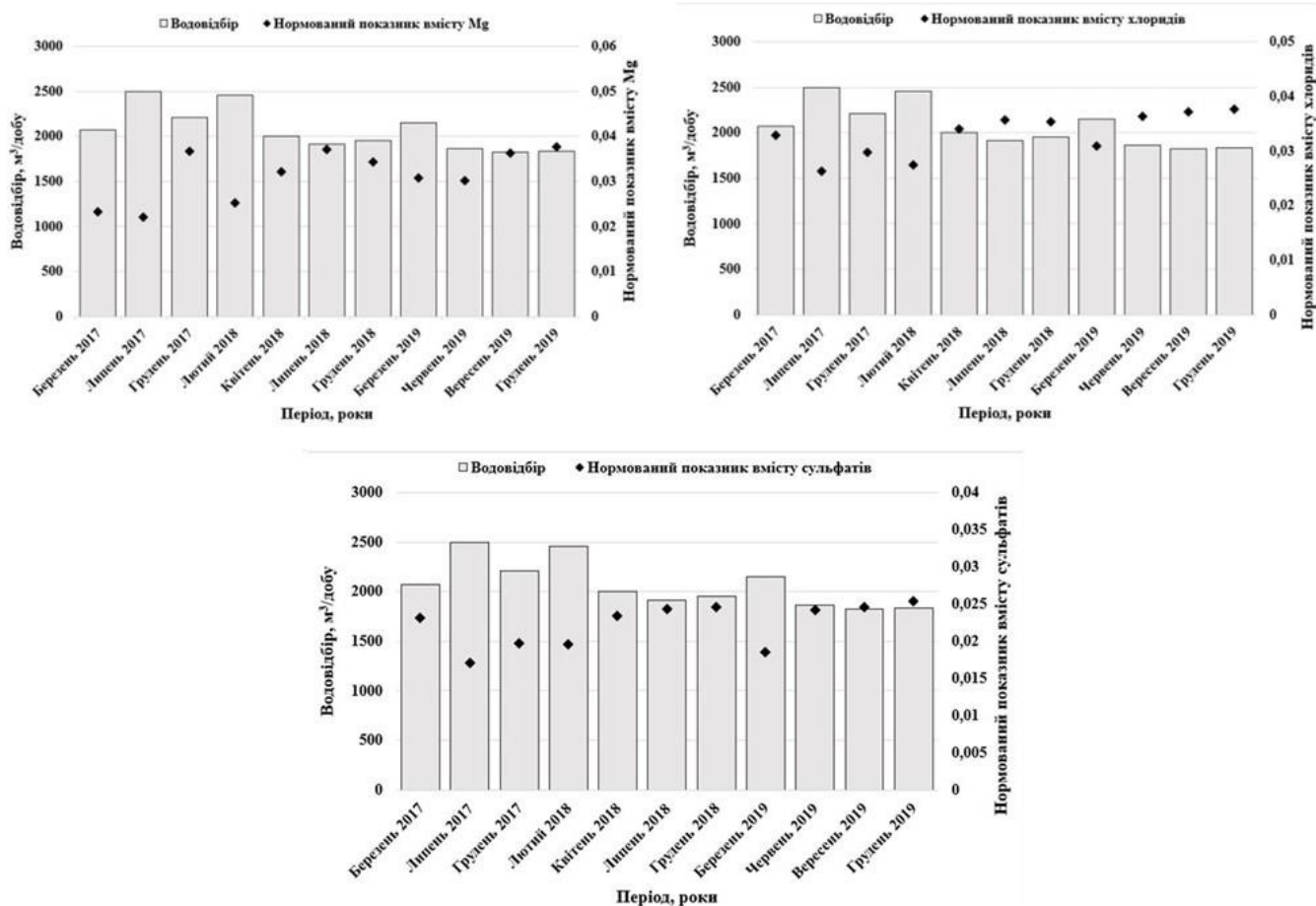


Рисунок 4 – Нормовані показники вмісту Mg, хлоридів, сульфатів та водовідбору з водоносного горизонту у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їх кори вивітрювання в період 2017-2019 рр.

Вивчено особливості хімічного складу підземних вод зони підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних порід (на прикладі Вінницької області) та водоносного горизонту у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (на прикладі Житомирської області).

На попередньому етапі дослідження було проаналізовано загальний хімічний склад підземних вод та виконано порівняльний аналіз. Він дозволив виявити ряд особливостей. Підземні води зони підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних порід (с. Вінницькі Хутори) за своїм складом є сульфатними гідрокарбонатними магнієвими кальцієвими. Згідно вітчизняних нормативних вимог перевищень ГДК не зафіксовано. Результати оцінки якості води (згідно ДСТУ 4808:2007 «Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання») за блоком загальносанітарних хімічних показників характеризували досліджені підземні води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{\text{п сер.}}=1,75$, клас 2, підклас 1–2) як перехідні за якістю від «відмінної» дуже чистої до «доброї», чистої. Якщо порівнювати отримані результати з даними обстеження цих підземних вод за 2016 (Шунков & Єзловецька, 2016), то можна говорити про відносне погіршення якості води за 4 роки,

адже раніше її якість за середніми значеннями відповідала 1 класу («відмінна», дуже чиста з ухилом до класу «доброї», чистої води бажаної якості).

Підземні води водоносного горизонту у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (с. Високий Камінь) за своїм складом є гідрокарбонатними магнієвими кальцієвими. Згідно вітчизняних нормативних вимог перевищень ГДК не зафіксовано. Винятком є лише показник загальної жорсткості, величина якого фактично відповідає величині ГДК згідно нормативу ДСТУ 7525:2014 Державний стандарт України «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості». Результати оцінки якості води за блоком загальносанітарних хімічних показників характеризували досліджені підземні води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{II\text{ сер.}}=1,63$, клас 2, підклас 1–2) як перехідні за якістю від «відмінної» дуже чистої до «доброї», чистої.

Таким чином, за блоком загальносанітарних хімічних показників досліджувані підземні води з двох різних областей подібні, відповідають одному й тому ж класу якості. Співвідношення катіонів у складі також є однаковим. Відмінності спостерігаються у аніонному складі. У зразках води з Вінницької області домінуючу роль відіграють сульфати (їх концентрація у чотири рази більша за виявлену у підземних водах Житомирської області).

Також було вивчено мікроелементний склад зразків досліджуваних підземних вод. Загалом було проаналізовано 9 мікроелементів (Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, As, Cd, Ba, Pb). У результаті аналізу особливостей мікроелементного складу досліджуваних підземних вод були встановлені наступні закономірності. Перевищень нормативів, встановлених ВООЗ, для досліджуваних мікроелементів, у обстежених зразках підземних вод не зафіксовано. Натомість спостерігаються істотні відхилення від біологічно значимих величин. У зразках підземних вод зони підвищеної тріщинуватості докембрійських кристалічних порід (с. Вінницькі Хутори) зафіксовано нестачу у воді таких есенційних елементів як Cr, Mn, Cu та Zn. При цьому вміст Cu у цьому водоносному горизонті у 6 разів менший, ніж у обстежених підземних водах Житомирської області, та у 12 разів менший за біологічно значиму концентрацію. Аналогічні співвідношення притаманні і для Zn. Вміст цього елементу майже у 14 разів менший, ніж у Житомирській області, та на багато порядків менший за БЗК. Концентрація Ba відповідає встановленій для нього біологічно значимій величині. Нижчі за біологічно значимі концентрації величини важких металів – Ni, Cd, Pb. У зразках підземних вод з водоносного горизонту у тріщинуватій зоні кристалічних порід та їхньої кори вивітрювання (с. Високий Камінь) зафіксовано нестачу у воді таких есенційних елементів, як Mn, Cu та Zn. При цьому вміст Mn у цьому водоносному горизонті у 30 разів менший, ніж у обстежених підземних водах Вінницької області, та на кілька порядків менший за біологічно значимий. Концентрація Cr відповідає встановленій для нього біологічно значимої величини. Концентрація Ba втричі перевищує біологічно значиму. Нижчі за біологічно значимі величини важких металів – Ni, Cd, Pb.

Проаналізувавши отримані результати, можна дійти таких висновків. Обстежені підземні води тріщинуватих кристалічних порід Українського щита з різних областей України мають подібний хімічний склад (за якістю води та іонним вмістом). Оскільки перевищень ГДК за потенційно токсичними (за високих концентрацій) важкими

металами (Ni, Cd, Pb) не було зафіксовано, пов'язані з ними ризики для місцевого населення відсутні. Відомо, що високий вміст Ва (у водах Житомирської області) потенційно може бути пов'язаний з виникненням таких захворювань як нефропатія та гостра гіпертензія. Варто наголосити на високих ризиках виникнення геохімічних ендемій в межах обстежених областей при регулярному вживанні досліджених підземних вод. Вони пов'язані з суттєвим дефіцитом у воді таких життєво важливих елементів як Cr (у Вінницькій області), Mn, Cu і, особливо Zn, вміст якого критично низький. Через брак цих елементів існує загроза виникнення мікроелементозних захворювань, що характеризуються порушеннями в репродуктивній системі, підвищеною крихкістю кісткової тканини, порушеннями вуглеводного і ліпідного обмінів. При регулярному вживанні досліджуваних підземних вод також існує небезпека виникнення порушень при формуванні серцево-судинної системи і скелету у дітей, розвитку дисплазії сполучної тканини (дефіцит Cu). Критично низькі концентрації Zn можуть призвести до розвитку анемії, вторинного імунодефіциту, цирозу печінки, статевої дисфункції, наявності вад розвитку плоду.

Таким чином, встановлені особливості мікроелементного складу підземних вод тріщинуватих кристалічних порід Українського щита дали змогу окреслити коло потенційних ризиків для здоров'я населення, яке постійно використовує їх для господарсько-питних потреб.

Наведено результати аналізу гідрогеохімічних особливостей підземних вод водоносної системи Українського щита та Причорноморської водоносної системи на прикладі таких територій як Саксагансько-Сурський рудний район та територія Балахівського родовища графіту Дніпропетровської області, а також Херсонського родовища підземних вод.

Виявлено зміни еколого-геохімічного стану ґрунтових вод, що використовуються населенням Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області для забезпечення питного водопостачання, за тривалий період спостережень (42 роки).

Досліджені 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.

На першому етапі дослідження 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.

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 Са (на 35 %), Ni (майже удвічі), Pb (у шість разів), а також вмістом сульфатів (більш, ніж удвічі). Варто відмітити, що перевищення ГДК за Ni згідно вітчизняного нормативного документу не є критичним, оскільки максимально допустима його концентрація згідно ВООЗ становить 0,07 мг/дм³. Така ж ситуація і з

Zn, граничне значення для якого у питній воді згідно ВООЗ є досить високим – 3 мг/дм³.

Результати оцінки якості води за блоком загальносанітарних 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 мікрокомпонентного складу ґрунтових вод, відібраних з колодязів обстежених населених пунктів Саксагансько-Сурського рудного району у 2020 році, було побудовано графіки вмісту важких металів (рис. 5).

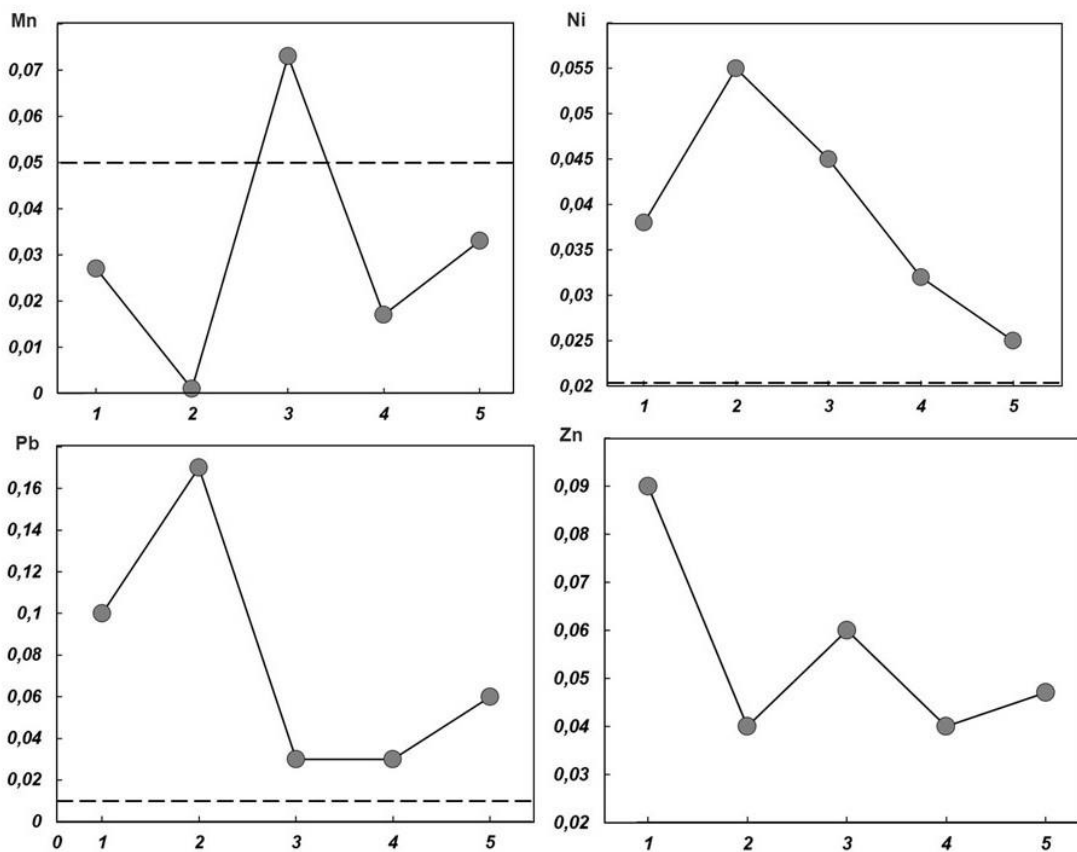


Рисунок 5 – Графіки вмісту (мг/дм³) мікроелементів у підземних водах населених пунктів Саксагансько-Сурського рудного району станом на 2020 рік: 1 – колодязь №1 (7в) у с. Божедарівка, 2 – колодязь №2 (6в) у с. Зоря, 3 – колодязь №16 (11в) у с. Вільне, 4 – колодязь №8 (4в) у с. Саксагань, 5 – колодязь №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 ($2,4 \text{ г/дм}^3$). Натомість найменша мінералізація ($1,2 \text{ г/дм}^3$) ґрунтових вод характерна для с. Саксагань.

За величиною загальної жорсткості найвищий показник у с. Ковалівка ($15,57 \text{ ммоль/дм}^3$). У той самий час для сіл Божедарівка та Вільне цей показник нижчий за ГДК – 4 ммоль/дм^3 . Відповідно, за цим показником вода в населених пунктах є придатною для питного водоспоживання.

За вмістом сульфатів найвища концентрація характерна для с. Зоря (680 мг/дм^3). У решти населених пунктів цей показник також суттєво перевищує допустимі норми.

Найгірші значення за вмістом Са у досліджуваних водах також притаманні с. Зоря (262 мг/дм^3). Натомість для сіл Божедарівка та Вільне цей показник нижчий за ГДК, і становить 50 мг/дм^3 . Таким чином, за цим показником вода в згаданих населених пунктах відповідає нормативам щодо питного водоспоживання.

Стосовно вмісту важких металів, найвищі концентрації Ni фіксуються у с. Зоря ($0,06 \text{ мг/дм}^3$), а Pb – у с. Зоря та с. Божедарівка (на рівні $0,1 \text{ мг/дм}^3$, що на порядок перевищує максимально допустиму концентрацію для питної води).

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, прилеглий 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 – 15 значень. Було побудовано гістограми розподілу вказаних показників на два періоди часу (рис. 6). Отримані результати дали змогу оцінити трансформацію хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод за 42 роки експлуатації.

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. Авторка вважає, що 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.

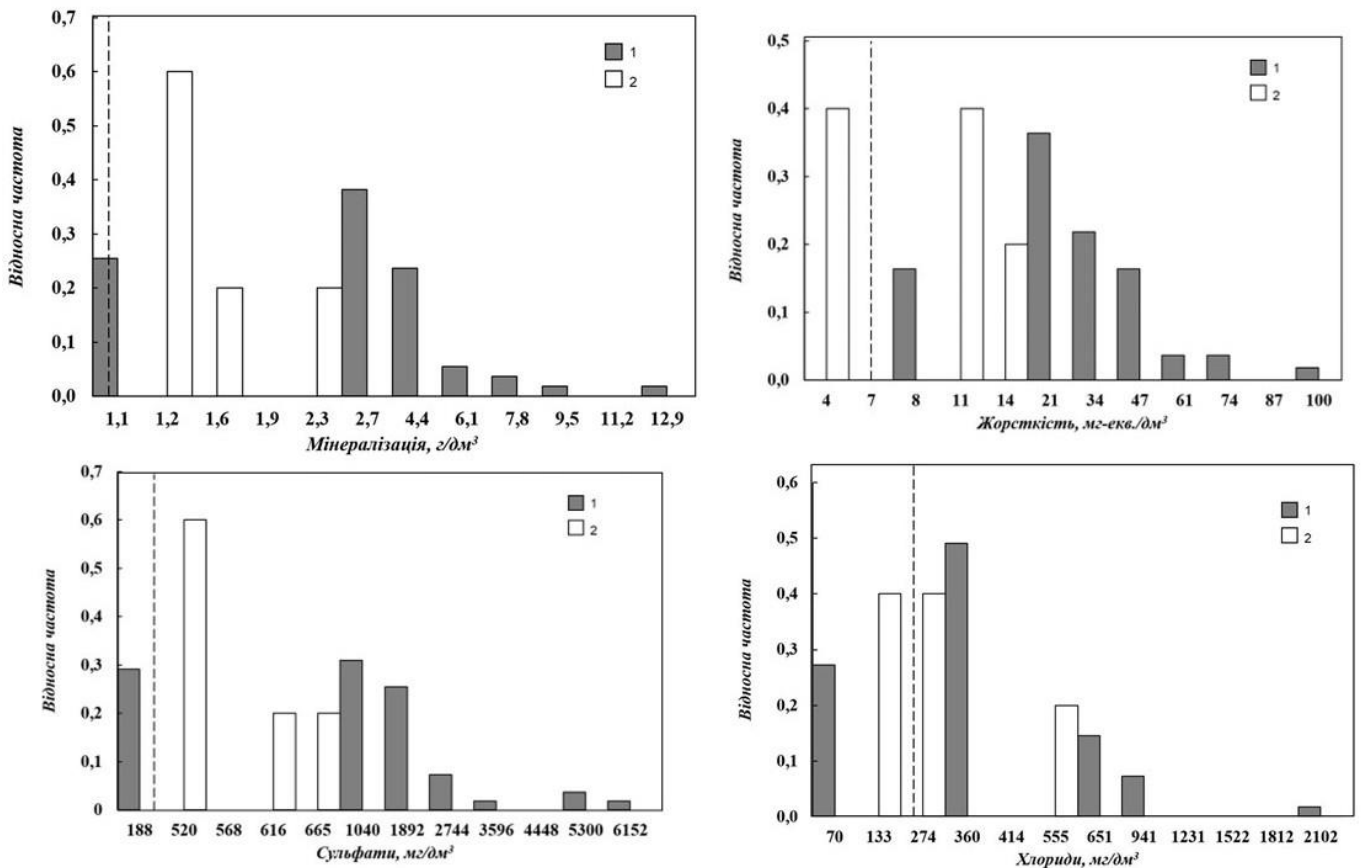


Рисунок 6 – Гістограма розподілу мінералізації, жорсткості, сульфатів та хлоридів у ґрунтових водах приурочених до середньо- і верхньочетвертинних лесових суглинків: 1 – станом на 1978 рік, 2 – станом на 2020 рік, штрих пунктиром позначена величина гранично допустимої концентрації згідно ДСТУ 7525:2014

Проаналізувавши результати обрахунків гідрохімічних даних, біло виявлено ознаки метаморфізації хімічного складу досліджуваних ґрунтових вод. Зокрема, підвищені у порівнянні з фоновими величинами показники мінералізації, загальної жорсткості, концентрацій Ca, Ni, Pb та сульфатів, на думку авторки, можуть бути пов'язані більшою мірою не з техногенними факторами, а природними умовами території дослідження, що узгоджується з результатами, отриманими іншими авторами (Шерстюк & Носова, 2016), що досліджували підземні води даного регіону.

Представлено результати обробки аналітичних даних, отриманих під час моніторингових польових досліджень південної ділянки Балахівського родовища графіту, що проводилися восени 2022 р., взимку 2022–2023 рр, навесні та влітку 2023 р. (Верховцев & Тищенко, 2023). Під час польових обстежень відбиралися і аналізувалися проби води з поверхневих (річки) і підземних (колодязі) джерел.

В межах досліджуваної території поширені три водоносні горизонти, які перебувають у тісному гідродинамічному зв'язку між собою: водоносний горизонт у відкладах четвертинної системи (Q), водоносний горизонт у відкладах сарматського регіоюрусу верхнього міоцену (Nis), водоносний горизонт у зоні тріщинуватості кристалічних порід і їх кори вивітрювання (PRi).

Для уточнення раніше отриманої інформації про геоекологічні та гідрохімічні показники НПС на території планованої діяльності і поблизу неї, у період з осені 2022

року до літа 2023 року було проведено комплекс польових натурних вишукувань для визначення фонових показників (базового стану) якості НПС.

На попередньому етапі дослідження було виконано загальний хімічний склад досліджуваних вод та виконано порівняльний аналіз.

Було встановлено, що за своїм хімічним складом поверхневі води є сульфатно-гідрокарбонатними магнієво-кальцієво-натрій-калієвими, підземні – гідрокарбонатно-сульфатними магнієво-кальцієво-натрій-калієвими. Таким чином, спостерігається подібність за катіонним складом, натомість за співвідношенням аніонів води відрізняються. У поверхневих водах переважає сульфат-іон, у підземних – гідрокарбонат.

За нормативними документами у поверхневих водах зафіксоване перевищення допустимих значень за Ca, Mg, SO₄, Na та K, у підземних – за Ca, SO₄, мінералізацією, Na та K.

За ДСТУ 4808:2007 була оцінена якість досліджених вод. За блоком загальносанітарних хімічних показників поверхневі води за середніми значеннями блокового індексу ($I_{\text{цсп.}}=2,1$, клас 2, підклас 2) можна охарактеризувати як «добрі», чисті води прийнятної якості.

Відповідно, підземні води за за середніми значеннями блокового індексу ($I_{\text{цсп.}}=2,3$, клас 2, підклас 2) так само можна охарактеризувати як «добрі», чисті води прийнятної якості.

Було вивчено мікроелементний склад зразків досліджуваних підземних вод. Загалом було проаналізовано 9 мікроелементів (V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb).

Було з'ясовано, що для обстежених поверхневих та підземних вод за ГДК перевищень не фіксується. Натомість для підземних вод концентрація мангану знаходиться на межі допустимого значення. Що стосується біологічно значимих концентрацій, то в обстежених підземних водах зафіксована нестача таких елементів як V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd та Pb.

У результаті проведених моніторингових досліджень були отримані наступні результати. Поверхневі та підземні води Балахівської ділянки мають переважно високу мінералізацію, що відповідає регіональним даним. В досліджених водах домінують сульфати або гідрокарбонати. За катіонним складом води є переважно кальцієво-натрієві чи магнієво-натрієві. За блоком загальносанітарних хімічних показників поверхневі та підземні води характеризуються як «добрі», чисті води прийнятної якості.

З отриманих результатів проб води можна констатувати, що якість води в цілому гірша у досліджених свердловинах в с. Олександрівка, с. Пустельникове, смт Балахівка та с. Новий Стародуб, ніж у р. Інгулець і р. Вівнянка й, навіть, у більшості водойм – як в кар'єрних озерах, так і ставках-запрудах.

За нормативними документами у поверхневих водах зафіксоване перевищення допустимих значень за Ca, Mg, SO₄, Na та K, у підземних – за Ca, SO₄, мінералізацією, Na, K та Mn. За величиною біологічно значимих концентрацій зафіксовано нестачу у підземних водах таких елементів як V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd та Pb. Варто зауважити, що основні гідрохімічні показники, такі як мінералізація, лужність, жорсткість, вміст головний іонів – аніонів (сульфатів, гідрокарбонатів, хлоридів) та катіонів (Ca, Mg, Na та K), мають природне походження і не належать до забруднюючих речовин; їх

кількісні параметри визначаються геохімічними особливостями місцевості та геологічними умовами залягання водоносних горизонтів.

Проведені еколого-гідрохімічні дослідження дали змогу встановити фонові показники базового стану якості НПС обстеженої території. Також у подальшому необхідно проводити спостереження за змінами хімічного складу поверхневих та підземних вод Південної ділянки Балахівського родовища графіту при безпосередній роботі гірничо-видобувного підприємства.

Досліджено еколого-гідрогеохімічні умови, які склалися в межах Причорноморської водоносної системи в межах представницької території – м. Херсон.

Основним джерелом водопостачання міста Херсона є верхньосарматський водоносний горизонт, який використовується населенням міста з 19 століття.

По мірі збільшення водопостачання відбулося порушення технології експлуатації артезіанських свердловин. На сьогоднішній день 76 % водозабірних споруд у Херсоні експлуатуються з перевищенням нормативного терміну, 30 % свердловин подають воду з відхиленням від державних стандартів за солемістом. Крім того при експлуатації конкретного водоносного шару відбувається притік небажаних інгредієнтів з інших горизонтів по всій площі депресії. Для артезіанських вод Херсона головними такими інгредієнтами є катіони та аніони легкорозчинних солей металів, а інколи – амоніаку, нафтопродуктів, сполук нітрогену.

Обстежений водозабір Херсонського родовища підземних вод на правобережжі Дніпра складається зі 144 свердловин: ділянка «Кіндійська-I» – 9, «Кіндійська-II» – 34, «Верхньо-Антонівська» – 12, «Херсонська-I-II» – 89. При цьому 76 % свердловин експлуатуються з перевищенням нормативного терміну, що складає 24 роки (Охріменко, Біла & Ляшенко, 2019). Абсолютна більшість свердловин каптують водоносний горизонт у відкладах верхньосарматського підрегіоарусу верхнього міоцену, за винятком деяких свердловин в прибережній частині Дніпра в межах ділянок «Кіндійська-I», «Кіндійська-II», «Верхньо-Антонівська», які експлуатують суміжні водоносні горизонти у відкладах верхнього сармату та меотис-понтичного віку, а також чотирьох свердловин ділянки «Кіндійська-I», які були переобладнані на водоносний горизонт у відкладах середнього сармату. Хімічний склад підземних вод є досить неоднорідним по площі Херсонського родовища. Переважають води хлоридно-гідрокарбонатного магнієво-кальцієво-натрієвого складу з мінералізацією до 1 г/дм³, зустрічаються води з мінералізацією до 3 г/дм³ сульфатно-хлоридного та хлоридного складу.

Підземні води більшості свердловин відповідають ДСанПіну 2.2.4-171-10 «Вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною». По деяким свердловинам ділянок «Кіндійська-I», «Кіндійська-II», «Верхньо-Антонівська», а також свердловинам, розташованим в межах західної, північної та південної (історична частина міста) ділянок «Херсонська-I», «Херсонська-II» відмічаються відхилення в сторону перевищення в підземних водах допустимих концентрацій хлоридів, сульфатів, загальної жорсткості, сухого залишку та вмісту азотних сполук.

На першому етапі дослідження було обрано ключові показники фізіологічної повноцінності складу питної води, а саме – основні катіони та аніони – HCO₃, SO₄, Cl, Na, K, Ca, Mg, а також NH₄, F, сухий залишок, загальну жорсткість, рН та перманганатну окиснюваність. Для цих показників було виконане порівняння з

величиною водовідбору в часі. Часовий проміжок, протягом якого вивчався зв'язок, охоплював понад 10 років – з 2009 до 2020 рр. Окрім побудов, були обраховані коефіцієнти кореляції Пірсона. Результати представлені на рис. 7.

Було виявлено низьку кореляцію між величиною водовідбору та вмістом хлоридів, сульфатів та сухим залишком, середню – між величиною водовідбору і загальною жорсткістю, вмістом амонію та величиною рН, високу – між величиною водовідбору і перманганатною окиснюваністю та вмістом фтору.

Було встановлено, що протягом досліджуваного періоду часу відбулися зміни у загальному хімічному складі підземних вод – у катіонному складі відбувся перехід від кальцієво-магнієвого складу до натрієво-калієвого, у аніонному – від хлоридно-гідрокарбонатного до гідрокарбонатно-хлоридного.

Також було застосовано класичний підхід, згідно якого концентрації компонентів хімічного складу досліджуваних вод порівнювалися з гранично допустимими значеннями. Було зафіксовано перевищення ГДК для таких показників як: сухий залишок, загальна жорсткість, SO_4 , Cl та Na .

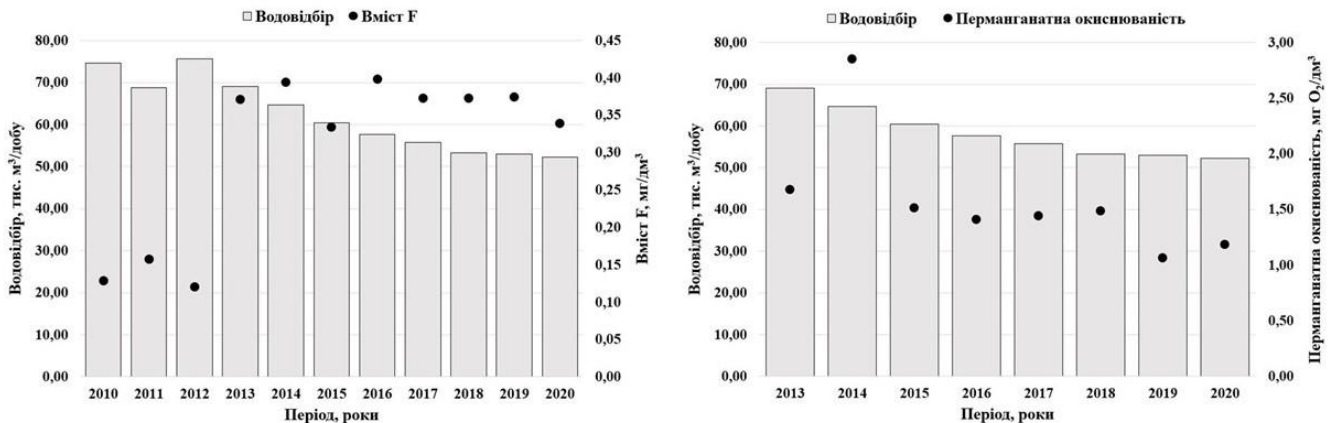


Рисунок 7 – Графік залежності величини водовідбору та вмісту фтору і перманганатної окиснюваності у підземних водах верхньосарматського водоносного горизонту у період 2010-2020 рр.

Проаналізувавши отримані результати, авторка дійшла висновку, що підземні води у відкладах верхнього сармату, що експлуатуються більшістю обстежених свердловин, на території м. Херсона мають складну спрямованість змін хімічного складу, в залежності від умов їх формування, які визначаються комплексом природних та техногенних чинників. Ключову роль тут відіграють (Лизогуб, 2021):

1. Наявність в покрівлі водоносного горизонту водотривких шарів, їх фільтраційні властивості.
2. Для крайових ділянок родовища – якісний склад підземних вод за його межами.
3. Для історичної центральної частини міста – наслідки від скиду госпфекальних вод до відкладів меотису-понту.
4. Відсутність централізованої каналізації в межах приватного сектору.
5. Живлення поверхневими водами р. Дніпро.
6. Конструктивні особливості свердловин.
7. Експлуатаційні навантаження на водоносний горизонт.

Усі перераховані вище чинники надають території родовища чітко вираженої площинної, а в деяких випадках і вертикальної, гідрохімічної зональності підземних вод.

У результаті проведеного дослідження було встановлено, що продуктивні водоносні горизонти Херсонського родовища питних підземних вод за якісним складом характеризуються строкатістю та неоднорідністю. При вивченні багаторічної динаміки, враховуючи коливання величини водовідбору, виявлено високу позитивну кореляцію між величиною цього показника та перманганатною окиснюваністю, а також високу негативну кореляцію між водовідбором та вмістом фтору. Виявлено, що у довоєнний час відбулися зміни у загальному хімічному складі підземних вод – у катіонному складі відбувся перехід від кальцієво-магнієвого до натрієво-калієвого, у аніонному – від хлоридно-гідрокарбонатного до гідрокарбонатно-хлоридного. У багаторічному розрізі зафіксовано перевищення ГДК для таких показників як: сухий залишок, загальна жорсткість, SO_4 , Cl та Na .

Варто відмітити, що, зважаючи на підрив Каховської ГЕС, гідродинамічна та гідрогеохімічна обстановка регіону зазнала суттєвих змін, що потребує комплексу додаткових досліджень. Представлені результати можуть бути корисними для встановлення фонових довоєнних показників в межах досліджуваної території.

У **четвертому розділі «Наукові засади еколого-біогеохімічного районування території України»** окреслено передумови для проведення районування території нашої держави у відповідності до принципів та підходів медичної мікроелементології, що передбачає врахування фонових концентрацій хімічних елементів у питних підземних водах та оцінку ризиків для здоров'я людини через вживання води незадовільної якості.

Наведено результати обрахунку фонових концентрацій вмісту ряду мікроелементів у питних підземних водах двох водоносних систем України (Дніпровсько-Донецької ВС та ВС Українського щита), на які припадає лівова частина прогнозних ресурсів підземних вод нашої держави. Зазначається, що під терміном «фонове значення» в даному випадку розуміється вміст хімічних елементів або забруднюючих речовин у водному середовищі, що відповідає або близький до його природного складу.

У геохімічних дослідженнях поширеною практикою є використання в якості фонових показників значення медіани досліджуваної вибірки. Це обумовлюється тим, що цей статистичний показник дозволяє послабити вплив аномальних значень, та частково позбавитися випадкових помилок бази даних (об'єктивні і суб'єктивні похибки аналітичних досліджень).

Таким чином, при розрахунку фонових концентрацій мікроелементів у досліджуваних питних підземних водах Дніпровсько-Донецької ВС та ВС Українського щита авторкою було використано медіанні значення.

Отримані результати свідчать про відсутність техногенного забруднення досліджуваних підземних вод, оскільки розраховані фонові концентрації мікроелементів коливаються в межах $0,00001$ – $0,05$ мг/дм³ та не перевищують гранично допустимих концентрацій, та можуть слугувати підґрунтям для проведення еколого-біогеохімічного районування території України.

Наведено основні методи оцінки ризиків вживання питної води незадовільної якості та представлено результати розрахунку неканцерогенного ризику вживання

питних підземних вод за безпороговим методом для Київського, Коростишівського та Херсонського родовищ.

Зазначається, що на сьогоднішній день уся суть фізичних та хімічних методів екологічного моніторингу зводиться до порівняння рівнів забруднення компонентів природно-територіальних комплексів, що оцінюються, зі встановленими гранично допустимими концентраціями. Однак цей підхід має суттєві недоліки: неможливість оцінки вторинних ефектів та взагалі пролонгованої дії забруднювачів на живі організми; відсутність обліку послаблюючого або, навпаки, погіршуючої дії природних факторів; а також повне випадіння з розгляду антагоністичних та синергічних зв'язків поллютантів. При діагностиці мікроелементозів, виділенні біогеохімічних провінцій або екологічно несприятливих територій фахівці усе частіше звертаються до інтегрованих системних способів дослідження. Простежується тенденція комплексної, а також інтегральної оцінки екологічного стану біогеоценозів, ландшафтів та селітебних територій. Особливості хімічного елементного складу біокосних систем та тканин живих організмів лежать в основі критеріальної біогеохімічної оцінки ризику прояву ендемічних захворювань. Це один з головних факторів, однак він повинен бути пов'язаний з організмами причинно-наслідковим зв'язком. Таким чином, рівень вмісту біологічно активних макро- та мікроелементів у середовища (в нашому випадку – водному) – є важливим фактором оцінки біогеохімічного благополуччя території. У зв'язку з обмеженням тривіальних підходів до оцінки небезпеки для здоров'я людини з боку НПС та неможливості встановлення прямих причинно-наслідкових зв'язків виникла необхідність використання сучасних методів оцінки шкоди здоров'ю – методів аналізу ризику. Це дозволяє оцінити реальну загрозу для здоров'я людини та обґрунтувати необхідність розробки відповідних превентивних заходів.

У дисертаційному дослідженні було застосовано метод оцінки ризику для здоров'я населення при впливі хімічних речовин, що забруднюють питну воду, за допомогою моделі оцінки неканцерогенного ризику безпороговим методом, яка використовує величини безпечних доз, які є індивідуальною характеристикою кожної речовини (Рой, 2017). За цією методикою, розраховувалася величина ризику (Risk) як імовірність розвитку неспецифічних токсичних ефектів при хронічній інтоксикації. До розрахунку були включені наступні показники: середня щоденна концентрація хімічного елементу, що надходить в організм людини з питною водою протягом життя (для оцінки ефектів, пов'язаних із тривалим впливом речовин, використовується середнє значення концентрацій за 3 роки), гранично допустима концентрація елементу, коефіцієнт запасу, який приймається залежно від вираженої ймовірності віддалених наслідків. Для аналізу одержаних величин неканцерогенного ризику використовується відповідна рангова шкала за рівнями ризику. Результати розрахунків представлені у табл. 3.

Таблиця 3 – Результати оцінки неканцерогенного ризику вживання питних підземних вод за безпороговим методом

Київське родовище підземних вод	Коростишівське родовище підземних вод	Херсонське родовище підземних вод
Mo Risk = 0,99 Cu Risk = 0,99 Zn Risk = 0,98 Pb Risk = 1	Mn Risk = 0,99	F Risk=0,68 Mn Risk=0,99

У результаті проведених обрахунків було виявлено, що за F рівень небезпеки є надзвичайно небезпечним, а за Mo, Cu, Zn, Pb та Mn – катастрофічним. Отримані результати можуть бути корисними при виділенні відповідних провінцій при проведенні еколого-біогеохімічного районування.

Представлено відомості про актуальні прийоми щодо виділення біогеохімічних провінцій. Грунтуючись на загальноприйнятих у геохімічній науці методик, які традиційно застосовуються вітчизняними вченими, та враховуючи досвід закордонних фахівців, запропоновано нові підходи щодо проведення еколого-біогеохімічного районування України.

Біогеохімічне районування території виконується з метою виявлення ендемічних захворювань. В основі цього районування лежить «реакція» живої речовини на характер геохімічного середовища, яка проявляється у вигляді мікроелементозів (у цьому полягає основна відмінність біогеохімічного районування від геохімічного). Біогеохімічні ендемії частіше всього виникають при нестачі або надлишку деякого порогового значення концентрації мікроелементу або порушення співвідношення зв'язаних із ним інших мікроелементів.

Відомі два підходи до біогеохімічного районування.

- За А.П. Виноградовим (Виноградов, 1935–44) основою поділу біосфери є біогеохімічна провінція, виділяються зональні та інтразональні біогеохімічні провінції.

- За В.В. Ковальським (Ковальський, 1982) враховується не просто надлишок або нестача елемента, а його пороговий інтервал концентрацій, при яких забезпечується нормальний розвиток організму, при цьому виділяються на регіони та субрегіони.

Уявлення про біогеохімічні провінції наразі трансформувалися. Відповідно до сучасних поглядів, вони є таксонами біосфери, складовими частинами субрегіонів, тому розглядаються не географічно ізольовані біогеохімічні провінції, а типові первинні та вторинні у зв'язку з потенційними та фоновими провінціями. Завдяки цьому у межах субрегіонів біосфери районування проводиться по принципу географічної неперервності.

Протягом останніх десятиліть збільшилася кількість наукових інструментів та підходів, які дозволяють фахівцям з екологічної геохімії вивчати біогеохімічні процеси на регіональному рівні. Таким чином, у ландшафтній або регіональній біогеохімії закордонні вчені найчастіше використовують три основні підходи: *системний аналіз або структурний підхід* (застосовується поняття про просторову та тимчасову мінливість, яка спостерігається у великих масштабах; при цьому ландшафт являє собою експериментальну базу, в межах якої дослідники можуть

відслідковувати, як мінливість хімічного складу в різних компонентах ландшафту впливає на потік і розподіл хімічних елементів загалом), *просторово точний аналіз* (базується на вивченні біогеохімічних зв'язків між компонентами ландшафту; у даному випадку окремі складові ландшафту вважаються просторово залежними один від одного, причому вода є ключовим середовищем для транспортування елементів між окремими компонентами ландшафту), *метод екстраполяції* (полягає у екстраполюванні наших уявлень про біогеохімічні таксони нижчого порядку на більші масштаби рівня ландшафтів та регіонів).

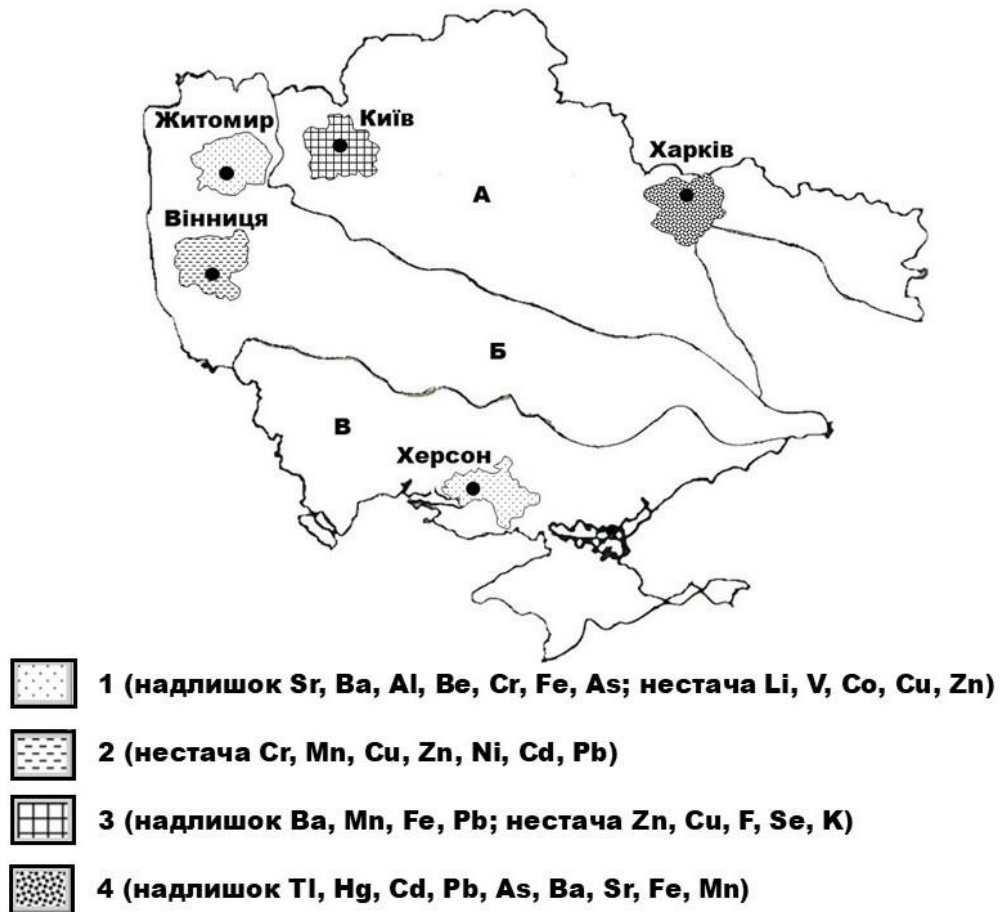


Рисунок 8 – Картографічна схема біогідрогеохімічного районування території України відповідно до кластеризації міських агломерацій за захворюваністю на серцево-судинні хвороби (із зазначенням надлишку та нестачі мікроелементів у питних підземних водах). А – Дніпровсько-Донецька водоносна система, Б – водоносна система Українського щита, В – Причорноморська водоносна система.

Показники захворюваності на серцево-судинні хвороби: 1 – низькі та нижче середнього, 2 – середні, 3 – середні та вище середнього, 4 – вище середнього

Імплементация закордонних підходів щодо ландшафтного біогеохімічного районування до традиційних вітчизняних є перспективною, оскільки викладені вище принципи дають змогу інтерпретувати обмежену геохімічну інформацію на рівень регіонального масштабу з урахуванням можливих похибок та невизначеностей. Зокрема, при виділенні біогеохімічних провінцій, ґрунтуючись на встановленні

зв'язку між мікроелементним складом питних підземних вод та захворюваністю населення, можна застосовувати принцип екстраполяції з використанням емпіричного моделювання, адже, як правило, на практиці опробувати щільною мережею спостережень велику територію (яка відповідає наприклад водоносній системі першого порядку), є технічно складним завданням. Фактично такий підхід відповідатиме індуктивному методу наукового пізнання, коли на підставі знання про окреме робиться висновок про загальне, і встановлюється обґрунтованість висунутого припущення чи гіпотези.

Враховуючи викладені принципи, здобувачем виконане схематичне біогідрогеохімічне районування території України відповідно до кластеризації міських агломерацій за захворюваністю на серцево-судинні та онкологічні хвороби (приклад такої картографічної схеми відповідно до патологій серцево-судинної системи представлений на рис. 8).

Картографічні схеми відображають уявлення авторки про застосування сучасних підходів до еколого-біогідрогеохімічного районування території України з урахуванням впливу гідрогеохімічної обстановки на стан здоров'я людей. Зазначається, що за наявності більшої кількості аналітичних даних можливе застосування оверлейного аналізу, що надасть змогу виділити біогідрогеохімічні провінції за поширенням встановлених за медичними даними геохімічних ендемій (мікроелементозів) при виконанні безпосередньо еколого-біогідрогеохімічного районування.

П'ятий розділ «Розрахунок форм міграції хімічних елементів у природних водних розчинах» присвячено термодинамічному моделюванню форм поширення хімічних елементів у природних водах, зокрема в питних підземних.

Описано методику обрахунку форм міграції хімічних елементів, що набула найбільшого поширення у практиці гідрогеохімічних досліджень.

На сьогодні найпоширеніший підхід щодо визначення біодоступності мікроелементів заснований на принципі більш активного їх проникнення до живих організмів. Зважаючи на це, в основі ряду математичних моделей закладений принцип розрахунку форм міграції елементів у залежності від параметрів водного середовища. Загалом сучасні уявлення про міграцію хімічних елементів базуються на термодинамічному моделюванні.

Фізико-хімічні розрахунки за допомогою методу математичного моделювання відіграють роль орієнтира при гідрогеологічних дослідженнях, їх результати можуть бути використані для приблизної оцінки та ймовірного прогнозування реальних геохімічних процесів.

В наш час широкого застосування набули комп'ютерні програми розрахунку рівноважного стану води за допомогою математичних методів мінімізації енергії Гіббса, зокрема, GEMs-Selector (створена міжнародною командою фахівців з математики, хімії, геології, серед яких і українські вчені). Крім вищезгаданого, серед найпоширеніших програмних модулів можна виділити наступні: HydroGeo, HCh (GIBBS), WATEQ4F та Hydra & Medusa. Ці спеціалізовані програмні засоби значно скорочують час складних розрахунків до малого проміжку часу.

Виконано обрахунок форм міграції одного з найважливіших еколого-формуєчих мікроелементів – мангану – у питних підземних водах ряду регіонів нашої держави.

Об'єктом дослідження були підземні води територій, які авторка поділила на умовно чисті (м. Київ, Житомирська область (с. Високий Камінь), Вінницька область (с. Вінницькі Хутори), Рівненська область (с. Жобрин)) і техногенно забруднені (Київська область (с. Підгірці), Дніпропетровська область (с. Божедарівка)) територій України.

Головною метою проведеного дослідження було виявлення особливостей розповсюдження мангану в межах умовно чистих та техногенно забруднених територій України та оцінка впливу характерних для досліджених підземних вод неорганічних лігандів на поведінку Mn^{2+} у залежності від вихідних умов водного середовища. Вибір саме цього елемента обумовлений тим, що, згідно останніх публікацій ВООЗ (Guidelines for..., 2022), допустима добова доза надходження мангану в організм людини становить 0,025 мг/кг маси тіла, при цьому потреба в цьому мікроелементі забезпечується переважно за рахунок питної води.

За допомогою спеціалізованих програмних засобів Hydra & Medusa було виконано розрахунок форм знаходження мангану в досліджуваних зразках води в залежності від рН. Крім концентрацій мангану, заліза та величини рН при розрахунку були враховані такі показники хімічного складу підземних вод: вміст іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , $(Na+K)^+$, HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- . Вміст форм Mn^{2+} було розраховано з використанням констант стійкості, наведених у роботах (Линник & Набиванец, 1985; Wilson, 1980).

Оскільки загальний хімічний склад обстежених підземних вод в межах умовно чистих та техногенно забруднених територій відрізняється (в першому випадку превалює гідрокарбонатний магнієво-кальцієвий склад, в другому – хлоридно-сульфатний магнієво-натрієвий), моделювання форм знаходження двовалентного мангану виконувалося для них окремо. Результати термодинамічного моделювання представлені на рис. 9 та 10.

Виконані авторкою побудови та розрахунки дозволили встановити наступну закономірність для обстежених підземних вод умовно чистих територій (що мають гідрокарбонатний магнієво-кальцієвий склад): на верхній межі рН (що відповідає величині 8) починається випадіння в осад малорозчинних сполук гідроксиду мангану, за величини рН 7,8 невеликий відсоток мангану випадає в осад у вигляді карбонату (рис. 9). Однак більша частина мангану в межах рН середовища, притаманного для досліджених зразків води, знаходиться у розчинній формі, причому 89 % – у вигляді вільного іону Mn^{2+} , 11 % – у формі $MnSO_4$.

Для техногенно забруднених територій (що мають хлоридно-сульфатний магнієво-натрієвий склад) співвідношення форм знаходження мангану характеризується своїми відмінностями (рис. 10). На верхній межі рН (що відповідає величині 8,8) до 5–7 % мангану випадає в осад у вигляді сполук $Mn(OH)_2$ та $MnCO_3$. При цьому більша частина мангану в межах рН середовища, притаманного для досліджених зразків води, знаходиться у розчинній формі, причому 56 % – у формі $MnSO_4$, 44 % – у вигляді вільного іону Mn^{2+} .

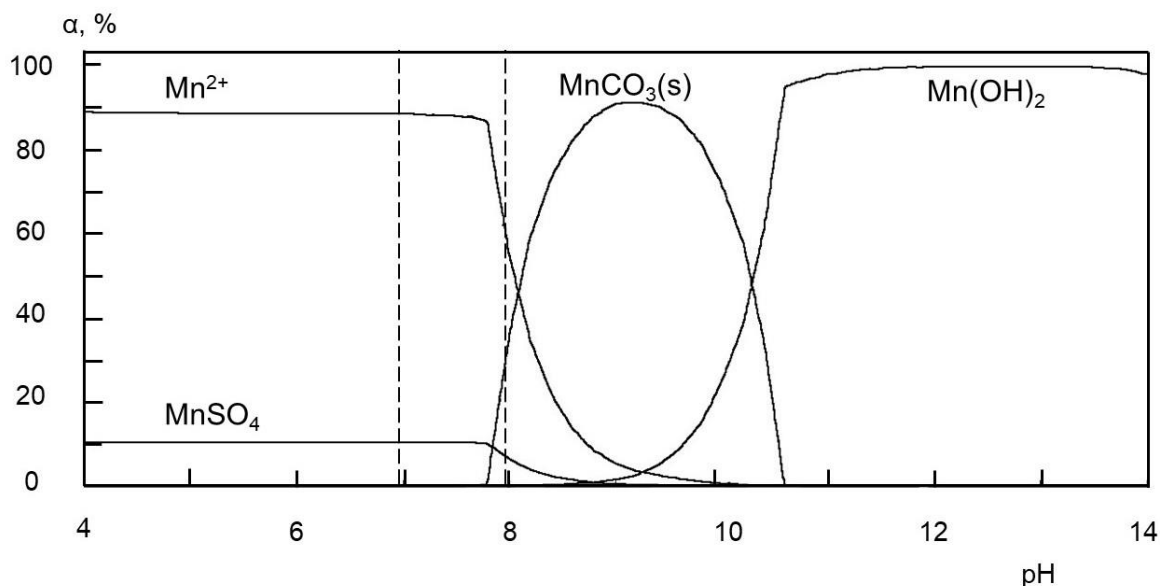


Рисунок 9 – Графік залежності форм знаходження Mn^{2+} (у відсотках) у воді від величини рН середовища (умовно чиста територія, склад води гідрокарбонатний магнієво-кальцієвий), штрих пунктиром позначено межі рН

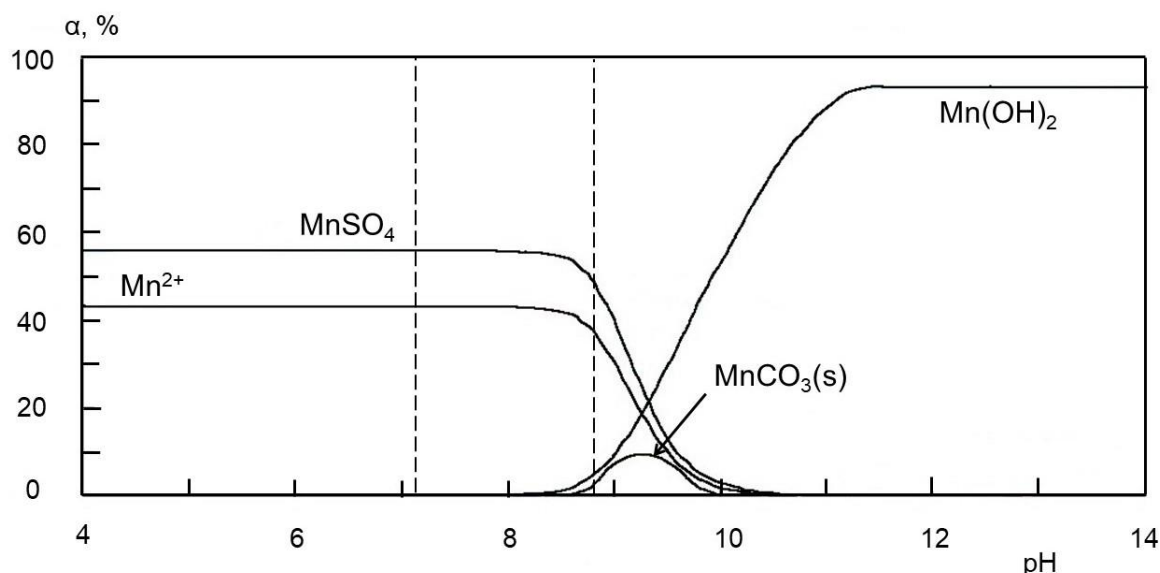


Рисунок 10 – Графік залежності форм знаходження Mn^{2+} (у відсотках) у воді від величини рН середовища (техногенно забруднена територія, склад води хлоридно-сульфатний магнієво-натрієвий), штрих пунктиром позначено межі рН

Таким чином, отримані результати добре узгоджуються з літературними даними щодо найрозповсюдженіших форм знаходження мангану у підземних водах (Nadaska, Lesny & Michalik, 2010). У той же час отримані співвідношення розчинних форм знаходження елементу для умовно чистих та техногенно забруднених територій України надали змогу встановити, що у відносно чистій воді гідрокарбонатного магнієво-кальцієвого складу (м. Київ, Житомирська, Вінницька та Рівненська області) манган мігрує переважно у вигляді вільного іону Mn^{2+} , і в значно меншій мірі (11 %) – у формі $MnSO_4$. Натомість у підземних водах техногенно забруднених територій (Київська та Дніпропетровська області) ключова роль належить

неорганічному ліганду SO_4^{2-} . Тут співвідношення розчинної сполуки MnSO_4 та іону Mn^{2+} тяжіє до 50 % на 50 %.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто сучасний стан питних вод підземних водоносних систем України з позицій медичної мікроелементології. З'ясовано, що однією з ключових властивостей елементів, що визначають їх проникнення до організму та екотоксичність, є біодоступність, яка, в свою чергу, залежить не тільки від концентрації елементів у воді, але й від геохімічних факторів водного середовища. Ці фактори справляють вплив за рахунок процесів комплексоутворення у більшій мірі, ніж природа самого іону. У природних водах з низькою мінералізацією та малою кількістю органічної речовини (що у більшості випадків відповідає підземним водам) біодоступність елементів для живих організмів зростає.

2. Розроблено принципи еколого-біогеохімічного районування території України на основі сучасного екологічного, геохімічного та медико-гідрологічного районування. З'ясовано, що, згідно сучасних уявлень, біогеохімічні провінції розглядаються не ізольовано, а як типові первинні та вторинні у зв'язку з потенційними та фоновими, завдяки чому у межах субрегіонів біосфери районування проводиться по принципу географічної неперервності. Виділено такі принципи як системний аналіз (структурний підхід), просторово точний аналіз та метод екстраполяції.

3. Виявлено особливості розповсюдження мангану у питних підземних водах умовно чистих та техногенно забруднених територій України, а також оцінено вплив характерних для досліджених підземних вод неорганічних лігандів на поведінку Mn^{2+} у залежності від вихідних умов водного середовища. З'ясовано, що у воді умовно чистих територій манган мігрує переважно у вигляді вільного іону Mn^{2+} , і в значно меншій мірі (11 %) – у формі MnSO_4 . Натомість в межах техногенно забруднених територій ключова роль належить неорганічному ліганду SO_4^{2-} , співвідношення розчинної сполуки MnSO_4 та Mn^{2+} становить, відповідно, 56 % до 44 %.

4. Для Київського, Коростишівського та Херсонського родовищ підземних вод виконано оцінку неканцерогенного ризику вживання води за допомогою безпорогового методу. Зроблено висновок про те, що у віддаленій перспективі рівень небезпеки вживання води за F є надзвичайно небезпечним, а за Mo, Cu, Zn, Pb та Mn – катастрофічним.

5. Виявлені еколого-гідрогохімічні закономірності розподілу мікроелементів у питних водах підземних водоносних систем України та розраховані їх орієнтовні фонові концентрації. З'ясовано, що фонові концентрації ряду мікроелементів (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), для підземних вод Дніпровсько-Донецької водоносної системи та водоносної системи Українського щита, коливаються в межах 0,00001-0,05 та не перевищують гранично допустимих концентрацій, що свідчить про відсутність техногенного забруднення досліджених підземних вод. Для питних підземних вод, приурочених до тріщинуватої зони кристалічних порід та їх кори вивітрювання в межах Коростишівського району Житомирської області характерним є відхилення вмісту ряду мікроелементів від біологічно значимих концентрацій. Такі

елементи, як Li, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, присутні у недостатній кількості, натомість Sr та Ba – у надлишковій, що є фактором ризику виникнення Урівської хвороби (Кашина-Бека) у місцевих мешканців.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Розділи у колективних монографіях:

1. Кураєва, І.В., Сплодитель, А.О., Вовк, К.В., Кошлякова, Т.О. (2023). Важкі метали в біокосних системах урбанізованих територій України: еколого-геохімічний аспект: монографія. Харків: «Діса плюс», 112.

Статті у виданнях іноземних держав:

2. Koshliakova, T. (2022). Current Approaches to Biogeochemical Regionalization in Ukraine. *Universal Journal of Geoscience*, 9(3), 31–37. DOI: 10.13189/ujg.2022.090301.
3. Koshliakova, T., Zlobina, K., Kuraieva, I. (2023). Ecological and geochemical aspects of interlayer water use for potable water supply of urban population: a case study in the Dnieper–Donetsk aquifer system, Ukraine. *Acta Geochimica*, 381 (42). 1–17. DOI: 10.1007/s11631-023-00604-y (*Scopus, Q3, закордонне видання геологічного профілю, Швейцарія*).

Наукові статті у вітчизняних фахових виданнях за спеціальністю, що обліковуються науковими базами даних Scopus та Web of Science:

4. Щербак, О.В., Кошлякова, Т.О., Долін, В.В. (мол.), Руденко, І.М., Куцка, Я.О. (2016). Оцінка ефективності радіогідрогеологічного моніторингу в зоні впливу Київського сховища радіоактивних відходів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 2(73), 46–52. DOI: 10.17721/1728-2713.73.07 (*Web of Science, фахове видання*).
5. Кошлякова, Т.О., Долін, В.В. (2016). Природні та техногенні чинники формування хімічного складу води сеноман-келовейського водоносного комплексу у межах Київської міської агломерації. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 4(75), 73–76. DOI: 10.17721/1728-2713.75.11 (*Web of Science, фахове видання*).
6. Кошляков О, Диняк О., Кошлякова І., Кошлякова Т.О. (2018). Гідрогеологічні особливості розрахунків стійкості укосів і схилів у межах урбанізованих територій. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 4 (83), 79–83. DOI: 10.17721/1728-2713.83.11 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
7. Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Злобіна, К.С. (2020). Особливості розподілу Pb, Mo, Cu та Zn у водах артезіанських водоносних горизонтів (у межах Київського родовища). *Мінералогічний журнал*, 2 (42), 63–73. DOI:

- 10.15407/mineraljournal.42.02.063 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
8. Ємельянов В.О., Наседкін Є.І., Сачко А.В., Кураєва І.В., Кошлякова Т.О. (2020). Розподіл свинцю в приземному атмосферному аерозолі міста Запоріжжя. *Мінералогічний журнал*, 4 (42). 104–115. DOI: 10.15407/mineraljournal.42.04.104 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
 9. Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Вовк, К.В., Злобіна, К.С. (2021). Особливості розподілу важких металів у компонентах довкілля паркових урболандшафтів міста Києва. *Мінералогічний журнал*, 2 (43), С.58–73. DOI: 10.15407/mineraljournal.43.02.058 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
 10. Кошлякова, Т., Кураєва, І., Кошляков, О., Олексенко, Л., Швайка, І., Проскурка, Л. (2022). Мікроелементний склад питних підземних вод на території Коростишівського району Житомирської області у системі гідрогеохімічного моніторингу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 2 (97), 85–91. DOI: 10.17721/1728-2713.97.11 (*Web of Science, Scopus, фахове видання категорії «А»*).
 11. Кошляков, О., Кошлякова, Т., Диняк, О., Кошлякова, І. (2022). Використання часового та просторового розподілу тритію для індикації змін стану сеноманкеловейського комплексу питних підземних вод на території міста Києва. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 3 (98), 80–85. DOI: 10.17721/1728-2713.98.10 (*Web of Science, Scopus, фахове видання категорії «А»*).
 12. Кошлякова, Т.О. (2023). Еколого-геохімічні особливості поширення мангану у підземних водах України. *Мінералогічний журнал*, 3 (45). 82–96. DOI: 10.15407/mineraljournal.45.03.082 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
 13. Ємельянов В., Наседкін Є., Федосєєнков С., Кошлякова Т. (2023). Застосування гідроакустичних методів при геохімічних дослідженнях розподілу забруднювачів в поверхневому шарі донних відкладів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 3 (102), 83–93. DOI: 10.17721/1728-2713.102.10 (*Web of Science, Scopus, фахове видання категорії «А»*).
 14. Koshliakova, T., Kuraieva, I. (2023). Hydrogeochemical features of groundwaters of the Ukrainian shield fractured crystalline rocks on the example of Zhytomyr and Vinnytsia regions. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 3 (32). 525–539. DOI: 10.15421/112347 (*Web of Science, фахове видання категорії «А»*).
 15. Кошлякова, Т., Кошляков, О. (2024). Зміни хімічного складу питних підземних вод Херсонського родовища за даними тривалих спостережень у довоєнні часи. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 3 (106), 69–75. DOI: 10.17721/1728-2713.106.09 (*Web of Science, Scopus, фахове видання категорії «А»*).

Наукові статті у фахових виданнях:

16. Кошлякова, Т.О., Кошляков, О.Є., Долін, В.В., Скрипкін, В.В. (2015). Оцінка інтенсивності водообміну в сеноман-келовейському водоносному комплексі на території м. Києва в умовах техногенного впливу. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія Геологія*, 1 (68), 66–70. DOI: 10.17721/1728-2713.68.11 **(фахове видання)**.
17. Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Азімов, О.Т., Злобіна, К.С., Хрущов, Д.П. (2021). Геохімічна трансформація об'єктів довкілля в межах полігонів захоронення твердих побутових відходів (на прикладі міста Києва). *Геохімія техногенезу*, 6 (34), 113–122. DOI: 10.15407/geotech2021.34.113 **(фахове видання категорії «Б»)**.
18. Rudenko I. M., Pushkar'ov O. V., Zubko O.V., Dolin V. V. (young), Koshliakova T.O. (2019). Geochemical features of adsorption of tritium from water solutions by clinoptilolite. *Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища*, 28, 106–119. **(фахове видання)**.
19. Кошлякова, Т.О., Кошляков, О.Є., Швайка, І.Д. (2022). Еколого-геохімічний стан поверхневих і приповерхневих вод міста Києва. *Геохімія техногенезу*, 7 (35), 61–64. DOI: 10.32782/geotech2022.35.11 **(фахове видання категорії «Б»)**.
20. Кошлякова, Т.О., Верховцев, В.Г., Луньов, Є.С., Тищенко, Ю.Є., Шкапенко, В.В. (2023). Особливості хімічного складу ґрунтових вод Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 28 (2(43)), 168–183. DOI: 10.18524/2303-9914.2023.2(43).292746 **(фахове видання категорії «Б»)**.
21. Кураєва, І.В., Сплодитель, А.О., Кошлякова, Т.О., Дерюгіна, О.В., Азімов, О.Т., Вовк, К.В. (2024). Еколого-геохімічна оцінка закономірностей розподілу мікроелементів у біокосних системах природних та техногенних ландшафтів лісостепової зони України. *Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки*, 29 (1(44)), 213–231. DOI: 10.18524/2303-9914.2024.1(44).305384 **(фахове видання категорії «Б»)**.

Тези доповідей конференцій:

22. Кошлякова, Т.О. (2015). Еколого-геохімічні передумови оптимізації водопостачання населення м. Києва за рахунок сеноман-келовейського водоносного комплексу. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки: матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Національний університет харчових технологій, Київ, 18-19 листопада 2015 р.)*. (с. 170–171). Київ: НУХТ.
23. Кошлякова, Т.О. (2015). Оцінка інтенсивності водообміну в сеноман-келовейському водоносному комплексі на території м. Києва. *Сучасні напрями геологічних досліджень в Україні: збірник матеріалів молодіжної наукової конференції (Інститут геологічних наук НАН України, Київ, 25-26 листопада 2015 р.)*. (с. 23–24). Київ: ІГН НАНУ.
24. Щербак, О.В., Кошлякова, Т.О., Долін, В.В. (мол.), Руденко, І.М., Куцка, Я.О. (2016). Modelling of groundwater level surface as indicator of radiation safety area.

- Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: матеріали міжнародної конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 10-13 травня 2016 р.).* (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
25. Кошлякова, Т.О., Злобіна, К.С. (2019). Проблеми використання питних підземних вод та здоров'я населення. *Об'єднані наукою: перспективи міждисциплінарних досліджень: матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 13-14 листопада 2019 р.).* (с. 96–99). Київ: ВПЦ «Київський університет».
 26. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Кошляков, О.Є. (2020). Distribution of heavy metals in potable groundwater of Dnieper-Donetsk artesian basin northwestern slope (as an example of Kyiv groundwater deposit). *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: матеріали міжнародної конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 11-14 травня 2020 р.).* (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
 27. Кошлякова, Т.О., Злобіна, К.С., Кураєва, І.В. (2020). Особливості мікроелементного складу бюветних вод м. Києва. *Гідрогеологія: наука, освіта, практика: Збірник наукових праць наукової конференції з міжнародною участю (Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, 14-15 листопада 2020 р.).* (с. 52–57). Харків: ХНУ ім. В.Н. Каразіна.
 28. Кошлякова, Т.О., Злобіна, К.С., Кураєва, І.В. (2020). Мікроелементний склад питних підземних вод Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну (на прикладі Київського родовища підземних вод). *Геологічне, гідрологічне та біологічне різноманіття Полісся: Збірка наукових праць міжнародної науково-практичної конференції (Національний університет водного господарства та природокористування, Рівне, 13 жовтня 2020 р.).* (с. 157–160). Рівне: НУВГП.
 29. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Кошляков, О.Є. (2020). Study of microelement composition of potable groundwater in Korostyshiv district of Zhytomyr region in hydrogeochemical monitoring system. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: матеріали міжнародної наукової конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 10-13 листопада 2020 р.).* (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
 30. Кошлякова, Т.О., Кошляков, О.Є., Диняк, О.В., Кошлякова, І.Є. (2021). Tritium content as indicator of Cenomanian-Callovian groundwater complex state changes as a result of long-term operation within Kyiv city. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: матеріали міжнародної конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 11-14 травня 2021 р.).* (с. 1–6). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
 31. Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Азімов, О.Т., Злобіна, К.С., Хрущов, Д.П. (2021). Modelling of environmental objects geochemical transformation within solid waste landfills. *Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects: матеріали міжнародної конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ,*

- 11-14 травня 2021 р.). (с. 1–6). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
32. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Вовк, К.В., Злобіна, К.С., Лемеш, Л.В. (2021). Біоіндикація забруднення паркових екосистем міста Києва важкими металами. *Екологія. Людина. Суспільство: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, 20–21 травня 2021 р.)*. (с. 47–53). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.
 33. Злобіна, К.С., Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Азімов, О.Т. (2021). Екогеохімічний стан ґрунтів і природних вод зони впливу сміттєзвалищ на прикладі полігону захоронення твердих побутових відходів. *Геологічна наука в незалежній Україні: збірник тез наукової конференції, присвяченої 30-тій річниці Незалежності України (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 8–9 вересня 2021 р.)*. (с. 127–129). Київ: ІГМР НАН України.
 34. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Злобіна, К.С. (2021). Особливості мікроелементного складу питних підземних вод, поширених в межах Коростишівського району Житомирської області. *Геологічна наука в незалежній Україні: збірник тез наукової конференції, присвяченої 30-тій річниці Незалежності України (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 8–9 вересня 2021 р.)*. (с. 136–139). Київ: ІГМР НАН України.
 35. Кошлякова, Т.О. (2021). Динаміка хімічного складу питних підземних вод Коростишівського району Житомирської області. *Prospects for Earth exploration: current state and rational use of resources: матеріали міжнародної наукової конференції (Люблін, 28-29 грудня 2021 р.)*. (с. 95–99). Рига: Baltija Publishing.
 36. Диняк, О.В., Кошлякова, Т.О., Кошлякова, І.Є., Кошляков, О.Є. (2021). Spatial analysis and modeling of tritium content in groundwater of Senoman-Callovian aquatic complex on the territory of Kyiv for the purpose of assessing changes in its ecological condition in time. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: матеріали міжнародної наукової конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 17-19 листопада 2021 р.)*. (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
 37. Кошлякова, Т.О., Кошляков, О.Є. (2022). Dynamics of ionic composition of potable groundwater of the Shostka deposit (based on long-term operation data). *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: матеріали міжнародної наукової конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 15-18 листопада 2022 р.)*. (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
 38. Кошарна, С., Кошлякова, Т., Кошляков, О., Гаммонс, Ч. (2022). Ecological and geochemical conditions of surface and near-surface waters of Kyiv, Ukraine. *Goldschmidt Conference: міжнародна наукова конференція (Гонолулу, 11-15 липня 2022 р.)*. (с. 1). Гонолулу: Goldschmidt.
 39. Кошлякова, Т.О. (2022). Сучасні підходи до ландшафтного біогеохімічного районування. *Геологічна будова та корисні копалини України: збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Інститут геохімії, мінералогії та*

- рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 12–13 жовтня 2022 р.). (с. 80–83). Київ: ІГМР НАН України.
40. Сплодитель, А.О., Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Швайка, І.А., Швайка, І.Д. (2022). Важкі метали в ландшафтах історичної місцевості Гірка Крістера. *Геологічна будова та корисні копалини України: збірник тез всеукраїнської наукової конференції (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 12–13 жовтня 2022 р.)*. (с. 107–110). Київ: ІГМР НАН України.
 41. Кошлякова, Т.О. (2023). Особливості хімічного складу ґрунтових вод Саксагансько-Сурського рудного району Дніпропетровської області. *Наукова весна: матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 1–3 березня 2023 р.)*. (с. 64–66). Дніпро: НТУ «ДП».
 42. Кошлякова, Т.О. (2023). Quality of groundwaters of the Ukrainian shield fractured crystalline rocks: potential risks to public health. *Актуальні проблеми дослідження довкілля: матеріали міжнародної наукової конференції (Сумський державний педагогічний університет імені А. С. Макаренка, Суми, 25–26 травня 2023 р.)*. (с. 199–203). Суми: СумДПУ.
 43. Кошлякова, Т.О. (2023). Еколого-геохімічні особливості поширення мангану у підземних водах України. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання. До 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського: матеріали всеукраїнської наукової конференції (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 19–20 вересня 2023 р.)*. (с. 268–272). Київ: ІГМР НАН України.
 44. Кошлякова, Т.О., Кураєва І.В. (2023). Підземні води тріщинуватих кристалічних порід Українського щита: еколого-геохімічний аспект. *Проблеми прикладних геологічних наук і шляхи їх подолання. До 160-річчя від дня народження В.І. Вернадського: матеріали всеукраїнської наукової конференції (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 19–20 вересня 2023 р.)*. (с. 272–277). Київ: ІГМР НАН України.
 45. Кошлякова, Т.О. (2023). Роль водного чинника у формуванні здоров'я споживачів підземних вод та оцінка ризиків виникнення мікроелементозів. *Геологічна будова та корисні копалини України: збірник матеріалів всеукраїнської молодіжної наукової конференції (Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України, Київ, 2–3 жовтня 2023 р.)*. (с. 61–64). Київ: ІГМР НАН України.
 46. Кураєва, І.В., Кошлякова, Т.О., Сплодитель, А.О., Вовк, К.В., Дерюгіна, О.В., Локтіонова, О.П. (2023). Комплексні геохімічні дослідження об'єктів довкілля техногенно-забруднених територій України з метою раціонального природокористування. *Від мінералогії і геогнозії до геохімії, петрології, геології та геофізики: фундаментальні і прикладні тренди XXI століття» (MinGeoIntegration XXI): збірник праць всеукраїнської конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 27–29 вересня 2023 р.)*. (с. 184–188). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.

47. Кошлякова, Т., Верховцев, В., Луньов, Є., Тищенко, Ю., Шкапенко, В. (2023). Metamorphization of the groundwaters chemical composition within the Saksagansk-Sursk ore district of the Dnipropetrovsk region during longstanding exploitation. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: матеріали міжнародної наукової конференції (Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, 7-10 листопада 2023 р.)*. (с. 1–5). Київ: ННІ «Інститут геології» КНУ ім. Т. Шевченка.
48. Koshliakova, T. (2024). The impact of groundwater on consumer health and risk assessment of endemic diseases. *Health-promoting mineral water of the Solankova Dolina – Ciechocinek 2024: Book of Abstracts of International Conference (Ciechocinek, Poland, March, 17-19, 2024)*. (p. 20). Ciechocinek: Humboldt Kolleg.
49. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Верховцев, В.Г., Тищенко, Ю.Є., Дерюгіна, О.В. (2024). Еколого-гідрохімічні дослідження південної ділянки Балахівського родовища графіту. *Екологія. Людина. Суспільство: матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції (Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського, Київ, 5 червня 2024 р.)*. (с. 22-27). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

50. Кошляков, О.Є., Диняк, О.В., Кошлякова, Т.О. (2023). Результати досліджень сучасного стану питних підземних вод сеноман-келовейського комплексу на території Київської міської агломерації із застосуванням ізотопних технологій. *New factors for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries : Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 155-174. DOI: 10.30525/978-9934-26-288-3-8*
51. Кошлякова, Т.О. (2015). Оцінка уразливості питних підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу в м. Києві за ізотопно-радіохімічними даними. *Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 1157 (42), 130–133.
52. Кошлякова, Т.О., Кураєва, І.В., Верховцев, В.Г., Тищенко Ю.Є. (2024). Еколого-гідрохімічні дослідження південної ділянки Балахівського родовища графіту. *Слобожанський науковий вісник. Серія: Природничі науки*, 1. 125-131. DOI: 10.32782/naturalspu/2024.1.17 (*фахове видання категорії «Б»*).

АНОТАЦІЯ

Кошлякова Т.О. Гідрогеохімія мікроелементів водоносних систем селітебних ландшафтів України. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора геологічних наук за спеціальністю 04.00.02 «Геохімія». – Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М. П. Семененка НАН України, Київ, 2025.

Представлена робота присвячена дослідженню особливостей мікроелементного складу питних підземних вод трьох водоносних систем України – Дніпровсько-Донецької, Причорноморської та Українського щита. Метою роботи було визначити закономірності розподілу мікроелементів в основних водоносних системах України

як основи еколого-біогеохімічного районування території держави, а також оцінити ризики для здоров'я місцевого населення.

Наукові результати було отримано на основі як власне проведених аналітичних досліджень хімічного складу зразків підземних вод за допомогою широкого спектру високочутливих методів аналізу, так і наявних фондових матеріалів. Отримані результати дозволили оцінити гідрогеохімічний стан питних підземних вод основних водоносних систем України з позицій медичної мікроелементології та виявити фонові концентрації есенційних елементів з урахуванням антропогенного впливу. Для досліджених підземних вод оцінено рівень небезпеки вживання води за F, Mo, Cu, Zn, Pb та Mn за неканцерогенним ризиком, оціненим безпороговим методом, окреслено коло ризиків для здоров'я місцевого населення. Виконано оцінку впливу характерних для підземних вод умовно чистих та техногенно забруднених територій України неорганічних лігандів на поведінку Mn^{2+} у залежності від вихідних умов водного середовища. Ґрунтуючись на отриманих даних, запропоновано нові принципи еколого-біогеохімічного районування з позицій медичної мікроелементології. Результати дослідження можуть бути використані господарюючими суб'єктами, управлінськими та природоохоронними організаціями при екологічній оцінці компонентів НПС територій України, що зазнають техногенного навантаження.

Ключові слова: підземні води, водоносна система, мікроелементи, есенційні елементи, форми міграції, біогеохімічне районування, селітебні ландшафти.

ABSTRACT

Koshliakova T.O. Hydrogeochemistry of trace elements of aquifer systems of residential landscapes of Ukraine. – Qualification scientific work manuscript. Thesis for a Doctor's Degree in Geology, in speciality 04.00.02 «Geochemistry». – M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2025.

The presented work is devoted to the study of the features of the trace element composition of potable groundwater of the three aquifer systems of Ukraine – the Dnieper-Donetsk aquifer system, Black Sea aquifer system, and Ukrainian shield aquifer system. The purpose of the work was to determine the patterns of distribution of trace elements in the main aquifer systems of Ukraine, which will serve as the basis for the ecological and biogeochemical zoning of the state's territory, and to assess the risks to the health of the local population.

Scientific results were obtained on the basis of both the actual analytical studies of the chemical composition of groundwater samples using a wide range of highly sensitive analysis methods and available stock materials. The results obtained allowed us to assess the hydrogeochemical state of potable groundwater of the main aquifer systems of Ukraine from the standpoint of medical microelementology and to identify background concentrations of essential elements taking into account anthropogenic impact. Background concentrations of a number of trace elements (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb), calculated from the median values of the samples, for potable groundwater of the Dnieper-Donetsk aquifer system and the aquifer system of the Ukrainian Shield, vary within 0.00001-0.05 and do not exceed the maximum permissible concentrations, which indicates the absence of technogenic pollution of the studied groundwater. The current state of potable

water in underground aquifer systems of Ukraine is considered from the perspective of medical microelementology. It has been found that one of the key properties of elements that determine their penetration into the body and ecotoxicity is bioavailability, which, in turn, depends not only on the concentration of elements in water, but also on the geochemical factors of the aquatic environment. These factors exert their influence through complexation processes to a greater extent than the nature of the ion itself. In natural waters with low mineralization and a small amount of organic matter (which in most cases corresponds to groundwater), the bioavailability of elements for living organisms increases. For the Kyiv, Korostyshiv, and Kherson groundwater deposits, the long-term risk level of water consumption was assessed for F, Mo, Cu, Zn, Pb, and Mn based on non-carcinogenic risk assessed using a non-threshold method. Potable groundwater within the Korostyshiv district of Zhytomyr region was studied, for which deviations in the content of a number of trace elements from biologically significant concentrations were detected, in connection with which a range of risks for the health of the local population was outlined. In particular, elements such as Li, V, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb are present in insufficient quantities, while Sr and Ba are present in excess, which is a risk factor for the occurrence of Urov (Kashyn-Bek) disease in local residents. The features of the distribution of manganese within the conditionally clean and technogenically polluted territories of Ukraine were identified and the impact of inorganic ligands characteristic of the studied groundwater on the behavior of Mn^{2+} was assessed depending on the initial conditions of the aquatic environment. It was found that in the water of conditionally clean areas, manganese migrates mainly in the form of the free Mn^{2+} ion, and to a much lesser extent (11%) in the form of $MnSO_4$. Instead, within technogenically polluted areas, the key role belongs to the inorganic ligand SO_4^{2-} , the ratio of soluble compounds $MnSO_4$ and Mn^{2+} is, respectively, 56% to 44%. Principles of ecological and biogeochemical zoning of the territory of Ukraine have been developed based on modern ecological, geochemical, medical, and hydrogeological zoning. It was found that, according to modern ideas, biogeochemical provinces are not considered in isolation, but as typical primary and secondary in connection with potential and background ones, due to which zoning within the subregions of the biosphere is carried out according to the principle of geographical continuity. Such principles as system analysis (structural approach), spatially precise analysis, and the extrapolation method are highlighted.

The results obtained during the work can later serve as the basis for the development of a system of ecological and hydrogeochemical monitoring of technogenically polluted areas. The implementation of such monitoring will be an important step towards achieving a non-toxic environment within the framework of Ukraine's participation in the LIFE environmental protection program, which our country joined after acquiring the status of a candidate for membership in the European Union. The conclusions obtained can become the basis for assessing the technogenic transformation of the chemical composition of drinking groundwater in the surveyed regions under conditions of armed aggression by the Russian Federation. The results of the study can be used by business entities, management and environmental organizations in the ecological assessment of environmental components of the territories of Ukraine that are subject to man-made loads.

Key words: groundwaters, aquifer system, trace elements, essential elements, migration forms, biogeochemical zoning, residential landscapes