

<https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.02.063>
УДК 550.4:556.3:502/504 (477)

І.В. Кураєва, д-р геол. наук, проф., зав. від.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: KI4412674@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

Т.О. Кошлякова, канд. геол. наук, старш. наук. співроб.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: geol@bigmir.net
<https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

К.С. Злобіна, канд. геол. наук, наук. співроб.
Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України
03142, Київ, Україна, пр-т Акад. Палладіна, 34
E-mail: ecaferinka@ukr.net
<https://orcid.org/0000-0001-8823-4642>

ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ Pb, Mo, Cu ТА Zn У ВОДАХ АРТЕЗІАНСЬКИХ ВОДОНОСНИХ ГОРИЗОНТІВ (У МЕЖАХ КИЇВСЬКОГО РОДОВИЩА)

Представлено результати вивчення гідрогеохімічних особливостей розподілу провідних екологоформівних мікроелементів (Pb, Mo, Cu та Zn) у питних артезіанських водоносних горизонтах у межах Київського родовища підземних вод. Виконано порівняльний аналіз величин гранично допустимих концентрацій (ГДК) основних макро- та мікрокомпонентів для питних підземних вод за вітчизняними та закордонними нормативними документами. Зроблено висновок, що найжорсткішими щодо вмісту макроелементів є вимоги Всесвітньої організації охорони здоров'я, а щодо мікроелементів — вітчизняні нормативи, а саме — Державні санітарні правила і норми (ДСанПіН 2.2.4-171-10). За допомогою статистичних методів проаналізовано розподіл досліджуваних мікроелементів у підземних водах сеноман-келовейського водоносного комплексу та байоського водоносного горизонту. За результатами дослідження виявлено перевищення ГДК за свинцем в деяких свердловинах. Окрім того встановлено, що середні концентрації мікроелементів у байоському водоносному горизонті є вищими, ніж у сеноман-келовейському комплексі. Висунуте припущення щодо взаємодоповнювального впливу природних (літологічний склад водовмісної товщі) та техногенних (забруднення зони аерації важкими металами, виклинування водотривких шарів уздовж р. Дніпро, інверсія гідродинамічного потоку підземних вод) факторів, що впливає на вміст цих мікроелементів у глибинних водоносних горизонтах Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. Наголошено на необхідності виконання подальших досліджень, спрямованих на виявлення закономірностей розподілу і форм міграції мікро- та ультрамікроелементів у підземних водах за допомогою методу термодинамічного моделювання.

Ключові слова: підземні води, екологоформівні мікроелементи, гранично допустима концентрація, екологічна гідрогеохімія, важкі метали, Київське родовище.

Вступ. Посилення техногенного впливу на основні компоненти геологічного середовища, і, особливо, на підземну гідросферу, неминуче

призводить до загострення проблеми забезпечення людства чистою питною водою, переважно пов'язаною з захищеними від поверхне-

Цитування: Кураєва І.В., Кошлякова Т.О., Злобіна К.С. Особливості розподілу Pb, Mo, Cu та Zn у водах артезіанських водоносних горизонтів (у межах Київського родовища). *Мінерал. журн.* 2020. 42, № 2. С. 63–73. <https://doi.org/10.15407/mineraljournal.42.02.063>

вого забруднення артезіанськими горизонтами. Оскільки поверхневі водойми та водотоки уразливіші до забруднення і частіше містять некондиційну за якістю воду, головним надійним джерелом чистої прісної води є підземні води. Аналіз вітчизняних і закордонних публікацій останніх років щодо вмісту мікро- та ультрамікроелементів у підземних водах у контексті зв'язку зі станом здоров'я людини дає підставу стверджувати, що нині надзвичайно актуальним науковим напрямом є екологічна гідрогеохімія.

У своїх роботах Г.І. Рудько [9] наголошує на тому, що стабільність хімічного складу організму — одна з найважливіших і обов'язкових умов його нормального функціонування. При цьому мікро- та ультрамікроелементи є біокатализаторами хімічних реакцій, які відбуваються під час побудови й постійного оновлення живих структур організму, регулювання метаболізму, беруть участь у формуванні клітин крові, гормонів, генетичного матеріалу, хімічних складових нервової системи. Ці елементи необхідні людям у дуже малих кількостях, однак організм самостійно їх не синтезує, вони можуть надходити лише з їжею та водою. Геологічне середовище є основним постачальником мінеральних речовин, тому, залежно від його тектонічної будови, поширення відповідних формаційних комплексів, металогенії, геохімічних, гідрохімічних, гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов, в організм людини надходить відповідна кількість мікро- та ультрамікроелементів. Складовою геологічного середовища є підземна гідросфера, яка, завдяки впливу на формування біогеохімічного балансу людини, істотно впливає на здоров'я населення. Підземні води зі специфічним хімічним складом — це води, які справляють відповідний вплив на здоров'я людини. Відсутність або нестача того чи іншого життєво необхідного елементу спричиняє зупинку росту і розвитку організму, неспроможність здійснення ним біологічного циклу, зокрема нездатність до репродукції. Але вживання того чи іншого елементу усуває ознаки його дефіциту і повертає організм до нормальної життєдіяльності. Г.І. Рудько зауважує, що у вивченні гідрогеохімічних особливостей підземних вод, на жаль, практично не враховано їхні макро- та мікроелементні особливості, які справляють істотний вплив на організм людини та багато в чому визначають його здоров'я.

Актуальність досліджень, спрямованих на вивчення мікро- та ультрамікрокомпонентів у підземних водах. У світі набуває поширення тенденція до вивчення вмісту мікро- та ультрамікрокомпонентів у природних розчинах з метою оцінки якості поверхневих і підземних вод як джерела прісної питної води. Про це свідчить ряд робіт іноземних вчених. Зокрема, литовський вчений А. Юревічус зі співавт. [15] наголошують на тому, що дослідження концентрацій Cd, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe, Mn, а також установлення форм їх міграції, дає змогу ідентифікувати джерела забруднення та інтенсивність їх впливу. Науковий інтерес становлять роботи індійських [14] та мексиканських [13] дослідників. Вони вивчали вміст у воді Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Pb, As, Cd, Mo і Se. Пакистанські вчені С. Хуссейн зі співавт. [16] показали результати дослідження вмісту мікрокомпонентів у підземних водах, які використовуються для питного водопостачання населених пунктів провінцій Пенджаб і Хібер-Пахтунхва, Пакистан. Вони застосували показник *chronic daily intake* (хронічне щоденне споживання) для восьми важких металів, поширених у питній воді досліджуваного регіону і встановили, що небезпека для здоров'я зростає у такому ряду: Cr > Ni > Mn > Cu > As > Pb > Co > Cd.

Зважаючи на нерозривність зв'язку підземних вод із поверхневими, під час вивчення гідрогеохімічних особливостей артезіанських басейнів важливо враховувати особливості поширення мікро- та ультрамікроелементів у поверхневих водоймах і водотоках. У цьому контексті науковий інтерес становлять роботи вчених-гідрологів. Зокрема, дисертаційна робота В.І. Осадчого дала поштовх до розвитку нового напрямку системних гідрохімічних досліджень, що базується на поєднанні географічних підходів вивчення умов і чинників формування хімічного складу поверхневих вод із фізико-хімічними процесами трансформації речовин у водному середовищі. Ним вперше були отримані нові дані стосовно форм знаходження Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Ni, Co, Cd у поверхневих водах основних річок України та виконано моделювання їх змін у широкому діапазоні концентрацій мінеральних та органічних лігандів [8].

Загалом актуальність і важливість таких досліджень обумовлена тим, що наявність високої концентрації хоча б одного мікроелементу у воді може накладати обмеження на викорис-

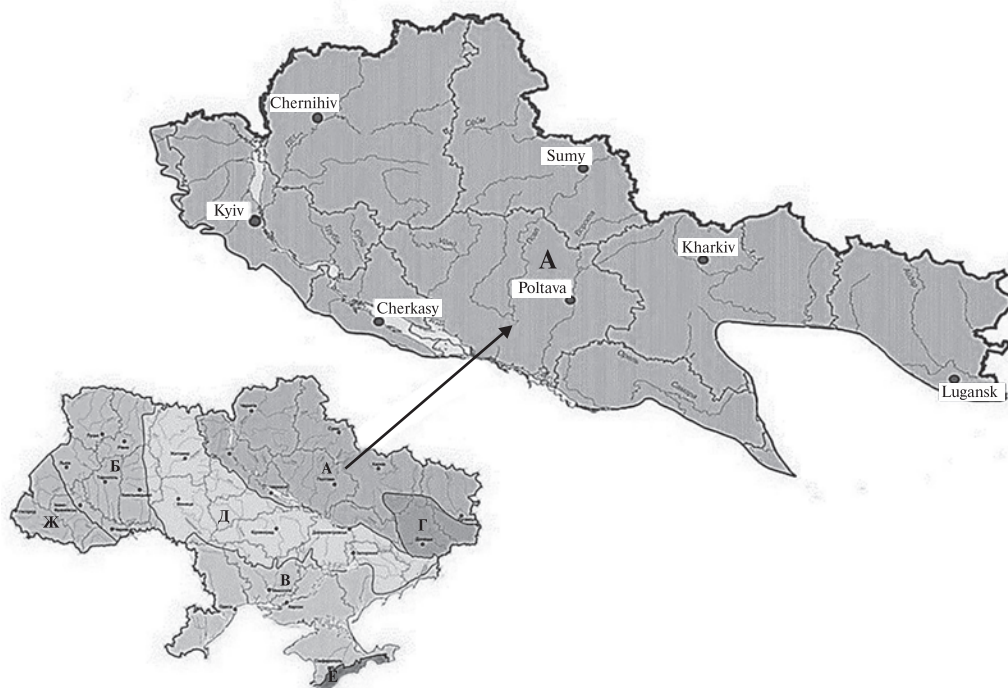


Рис. 1. Область поширення Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну в Україні. Схематична карта [6]

Fig. 1. Location of the Dnieper-Donetsk artesian basin in Ukraine. Schematic map [6]

тання вод для питного водопостачання. Даний фактор, на наш погляд, є дуже актуальним, урахувавши використання у системі питно-господарчого водопостачання до 70 % поверхневих джерел.

Об'єктом дослідження є артезіанські водонесні горизонти Київського родовища підземних вод, які використовуються для питного водопостачання (а саме — сеноман-келовейський комплекс і байоський водонесний горизонт).

Предмет дослідження — геохімічні особливості розподілу екологоформічних мікроелементів Pb, Mo, Cu та Zn у підземних водах артезіанських водонесних горизонтів м. Київ.

Вивченість території досліджень. Дніпровсько-Донецький артезіанський басейн (ДДАБ) розташований у північно-східній частині України у межах Дніпровсько-Донецької западини і охоплює території Чернігівської, Сумської, Полтавської, Харківської (без південно-східної частини) і північні частини Київської, Черкаської і Луганської областей (рис. 1).

ДДАБ є найбільшою в Україні гідрогеологічною структурою — до поверхневої системи водонесних горизонтів і комплексів, що визначають його гідрогеологічні умови, належить 40 % всіх експлуатаційних ресурсів підземних

вод України*. Він є класичним типом артезіанського басейну, якому притаманна витриманість поширення водонесних горизонтів і шарів, які розділяють їх на значних площах, що визначає поверховий характер залягання водонесних горизонтів. Товща осадових порід насичена підземними водами і є єдиною водонесною системою горизонтів, різною мірою пов'язаних між собою і з поверхневими водами через слабопроникні шари порід. Потужність зони інтенсивного водообміну коливається від 300 до 700 м [6].

Для північно-західного схилу ДДАБ характерним є Київське родовище підземних вод. Поширені в межах цього родовища регіональні слабопроникні шари сприяють зменшенню інтенсивності вертикального водообміну з глибиною — у верхніх водонесних горизонтах і комплексах вона значно вища, ніж у нижніх. Один і той же водонесний горизонт отримує максимум живлення на бортах ДДАБ (границя з Українським щитом) і мінімум — в центральній, найбільш зануреній частині (у зв'язку зі

* Шестопапов В.М. та ін. Закономірності формування експлуатаційних ресурсів підземних вод схилів артезіанських басейнів (на прикладі водозаборів Києва, Мелітополя, Придунав'я). Звіт про НДР. Київ, 2009. 256 с.

збільшенням потужностей і погіршенням фільтраційних властивостей роздільних шарів).

З точки зору питного водопостачання в межах м. Київ стратегічно важливими є глибинні (артезіанські) водоносні горизонти: 1) водоносний комплекс у відкладах іваницької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світ нижньої та верхньої крейди — сеноман-келовейський водоносний комплекс, приурочений до пісків, пісковиків з прошарками вапняків, кременів, глин, алевритів, мергелів; 2) водоносний горизонт у відкладах орельської світи середньої юри — байоський водоносний горизонт, приурочений до пісків різнозернистих із прошарками глин та лінзами бурого вугілля.

Територія Київського родовища підземних вод слугує наочним прикладом гідрогеологічного об'єкта, на який тривалий час (понад 100 років) впливає комплекс антропогенних чинників. Поява нових джерел формування водообміну (водозаборів, меліоративних систем, гідротехнічних споруд) визначила зміну структури та інтенсивності водообміну між водоносними комплексами (горизонтами), а також між підземними і поверхневими водами (за даними звіту В.М. Шестопалов та ін., 2009).

Водовідбір підземних вод викликав розвиток регіональної депресійної воронки в байоському водоносному горизонті і локальних (практично рівних за площею міській території Києва) в сеноман-келовейському. Сталася інтенсифікація (інколи на порядок і більше) перетікання між водоносними горизонтами і комплексами. Такі процеси викликають занепокоєння, адже, незважаючи на те, що сеноман-келовейський водоносний комплекс і байоський водоносний горизонт розташовані на значній глибині (90—200 м) та вважаються захищеними (умовно захищеними на лівобережжі р. Дніпро) від забруднення, ряд досліджень останніх років [4, 5] засвідчили техногенні зміни хімічного складу підземних вод, зокрема погіршення якості: зростання величини мінералізації, жорсткості, концентрації хлоридів, амонію та окиснюваності у сеноман-келовейському водоносному комплексі та збільшення мінералізації у байоському водоносному горизонті.

Варто зазначити, що особливості гідродинамічного режиму та хімічного складу підземних вод ДДАБ і, зокрема, м. Київ у різні роки досліджували багато вчених: С.Г. Коклик,

Є.Ф. Тамм, К.К. Перевозников, К.І. Маков, І.Є. Жернов, Е.С. Бурксер, А.Є. Бабінець, В.Я. Клименко, Ф.А. Руденко, А.Е. Попов, І.І. Цапенко, М.П. Єлісеєва, К.Н. Варава, Г.М. Захарченко, Л.П. Швай та ін. На сучасному рівні уявлення про гідрогеологічні та гідрогеохімічні умови набули розвитку в наукових працях В.М. Шестопалова, Є.І. Колот, Д.Р. Литвака, Г.А. Козьменко, В.Н. Соловицького, Ю.Ф. Руденка, О.П. Нікіташа, Н.О. Крюченко, Е.Я. Жовинського [3] та інших відомих фахівців.

Методи досліджень. Для виконання цієї роботи нами було застосовано методи абсорбційної спектрофотометрії та маспектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-MS). Лабораторні дослідження за методом абсорбційної спектрофотометрії були виконані у Інституті колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, аналітичні дослідження за методом ICP-MS — в Інституті геохімії, мінералогії та рудоутворення ім. М.П. Семененка НАН України. Досліджено 123 проби води, 68 з них — із сеноман-келовейського водоносного комплексу, 55 — із байоського водоносного горизонту. Пробовідбір було виконано у листопаді-грудні 2017 року спільно зі співробітниками Державного підприємства "Українська геологічна компанія" відповідно до вимог міждержавного стандарту ГОСТ 31861-2012 "Вода. Общие требования к отбору проб" [2].

Концентрацію Pb, Zn та Cu визначено за допомогою атомно-абсорбційних спектрофотометрів AAS-1 і AAS-30 [1]. Вміст у воді Mo визначено за допомогою однопроменевого спектрофотометра Spekol-11. Для перевірки отриманих результатів 10 зразків води були додатково досліджені на маспектрометрі ICP-MS. Перевагою застосування маспектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою є висока чутливість, що дає змогу визначати ряд металів та деяких неметалів у концентраціях до 10^{-10} %. [7]. Під час застосування цього методу було використано стандарт ISO 11885:2007 *Water quality — Determination of selected elements by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)*.

Обробку результатів лабораторних аналізів проб води здійснено за допомогою статистичних методів у програмі *Microsoft Excel*. Статистична обробка полягала у встановленні закону розподілу досліджуваних вибірок, визначенні середніх арифметичних значень, вибірових

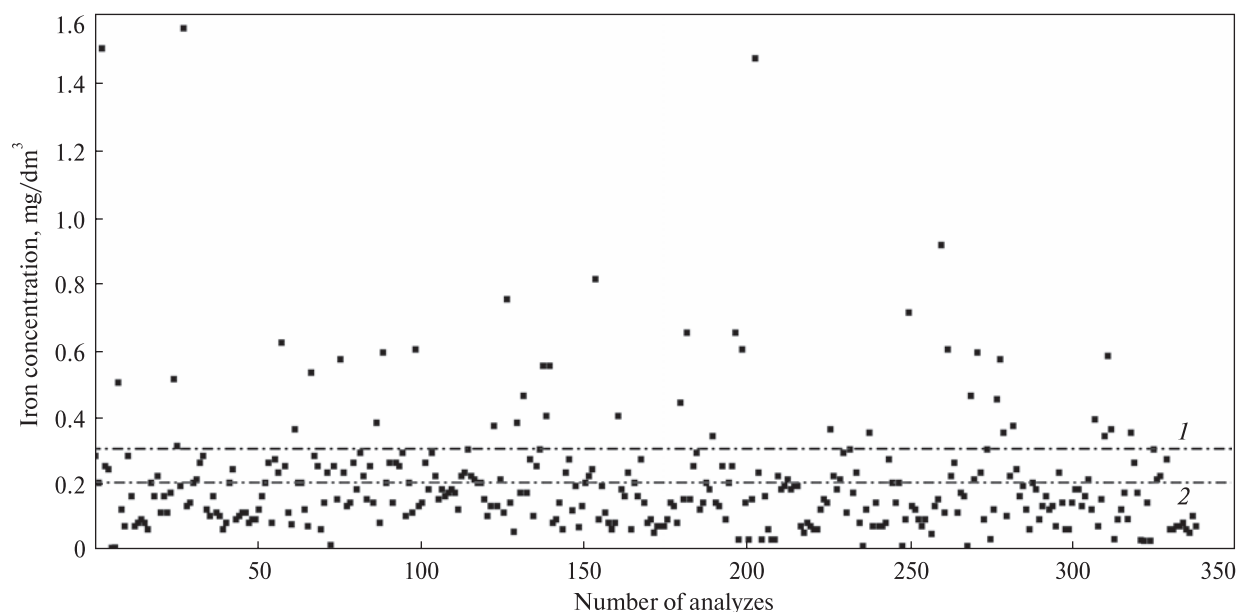


Рис. 2. Графік вмісту заліза у зразках артезіанських підземних вод м. Київ з відображенням величини ГДК за різними нормативними документами: 1 — ГОСТ 2874-82, 2 — ДСанПіН 2.2.4-171-10 [10]

Fig. 2. Diagramme of iron content in samples of artesian groundwater in Kyiv, showing the value of MPC according to various regulatory documents: 1 — State Standard 2874-82, 2 — Sanitary Rules 2.2.4-171-10 [10]

стандартних відхилень, коефіцієнтів асиметрії та ексцесу. Встановлення закону розподілу здійснювалося за "правилом трьох сигм" з використанням значень стандартних відхилень коефіцієнтів асиметрії та ексцесу [2]. Розподіл досліджуваних мікроелементів ілюструють відповідні графіки.

Порівняння величин гранично допустимих концентрацій (ГДК) макро- та мікроелементів у питних підземних водах у вітчизняних і закордонних нормативних документах. Донедавна в Україні діяли одночасно два нормативних документи, що регламентують якість питної води: ГОСТ 2874-82 "Вода питна. Гігієнічні вимоги та контроль за якістю" та ДСанПіН 136/1940 "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання". ДСанПіН 136/1940 набув чинності 1996 р., у ньому була збільшена кількість нормативів (28 — у ГОСТі, 56 — у ДСанПіН), які для деяких показників стали жорсткішими, з'явилися рекомендації відносно значень показників фізіологічної повноцінності мінерального складу води.

Зараз в Україні діють такі 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 р.), ДСТУ 4808:2007 "Джерела централізованого питного водопос-

тачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання" (з 2012 р.) та ДСТУ 7525:2014 "Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості" (з 2015 р.). Важливою перевагою нового ДСТУ 7525:2014 — є уведення терміну "бювет" (за аналогією з ДСанПіН 2.2.4-171-10).

За кордоном для оцінювання якості води та визначення ГДК компонентів її хімічного складу застосовують нормативи Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВОЗ, *World Health Organization*).

Аналіз опублікованих джерел показав, що на сьогодні багато вчених орієнтуються також на американські норми для питної води, розроблені Агентством з охорони навколишнього середовища США (*National Primary Drinking Water Regulations*).

Вибір нормативного документу з метою визначення якості води та її придатності для питного водопостачання має виняткове значення. Для прикладу на рис. 2 наведено порівняння двох вітчизняних нормативних документів — ГОСТ 2874-82 та ДСанПіН 2.2.4-171-10 для визначення ГДК заліза [10].

Як видно з рис. 2, відповідно до ГОСТ 2874-82, 90 % зразків води будуть вважатися кондиційними без перевищення ГДК, за ДСанПіН 2.2.4-171-10, лише 75 % зразків будуть відповідати вимогам.

Нами виконано порівняльний аналіз основних нормативних документів, що регламентують якість води за ГДК для основних макро- і деяких мікроелементів (табл. 1). Виявлено, що, найжорсткішими щодо вмісту макрокомпонентів є вимоги ВОЗ, а щодо мікроелементів — вітчизняні нормативи. Однак, як підкреслює директор Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України академік

НАН України В.В. Гончарук [1], українські ДСанПіН та ДСТУ мають рекомендаційний характер, тому їх вимог не завжди дотримуються.

Результати та їх обговорення. Результати досліджень, присвячених вивченню деяких закономірностей просторового та часового розподілу компонентів хімічного складу глибинних водоносних горизонтів Київського родовища підземних вод, отримані К.С. Злобіною [4] та

Таблиця 1. Порівняння величин гранично допустимих концентрацій (ГДК) для основних компонентів хімічного складу питної підземної води у вітчизняних та закордонних нормативних документах

Table 1. Comparison of maximum permissible concentrations for major components of potable groundwater chemical composition in accordance with domestic and foreign regulatory documents

Показник хімічного складу	ГДК, мг/дм ³			
	ДержСанПіН 2.2.4-171-10 "Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання"	ДСТУ 7525:2014 "Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості"	USEPA (United States Environmental Protection Agency) National Primary Drinking Water Regulations	WHO (World Health Organization)
Мінералізація	1000	1000	500	—
HCO ₃	—	—	—	—
SO ₄	250	150	—	—
Cl	250	150	250	200
Ca	130	130	—	75
Mg	80	80	—	50
Na	200	200	—	—
K	—	20	—	—
Pb	0,01	Відсутність	Відсутність	0,005
Mo	0,07	"	—	—
Cu	1	1	1,3	1
Zn	1	1	—	5
Cd	0,001	Відсутність	0,005	0,005

Примітка. Прочерк — показник не нормують.

Note. Dash — not controlled.

Таблиця 2. Результати статистичного аналізу даних щодо вмісту важких металів у бюветній воді Києва, мг/дм³

Table 2. The results of the statistic analysis of heavy metals content in well-room's groundwater of Kyiv, mg/dm³

Елемент	Середнє	Медіана	Мода	Максимум	Мінімум	ГДК (за ДержСанПіН 2.2.4-171-10)
<i>Сеноман-келовейський комплекс (68)</i>						
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
<i>Байоський горизонт (55)</i>						
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

Примітка. У дужках — кількість досліджених проб.

Note. In parentheses — the number of studied samples.

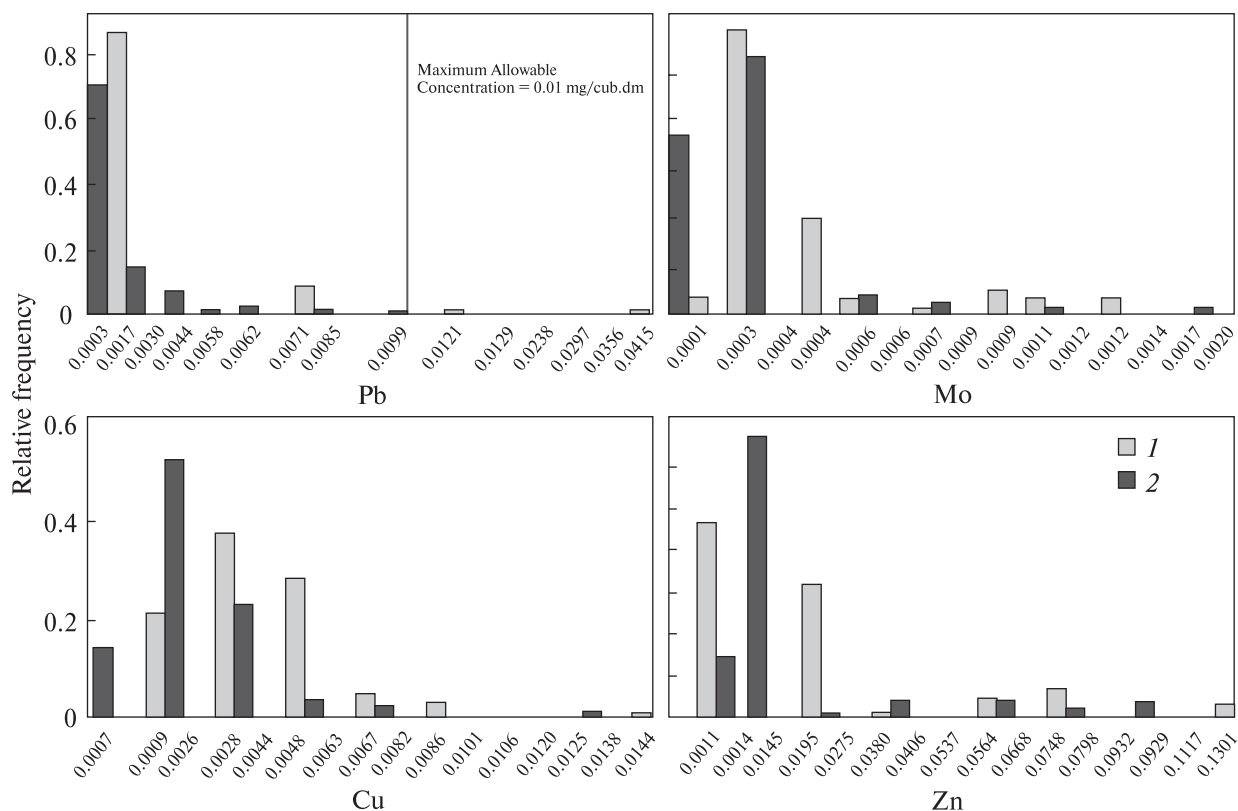
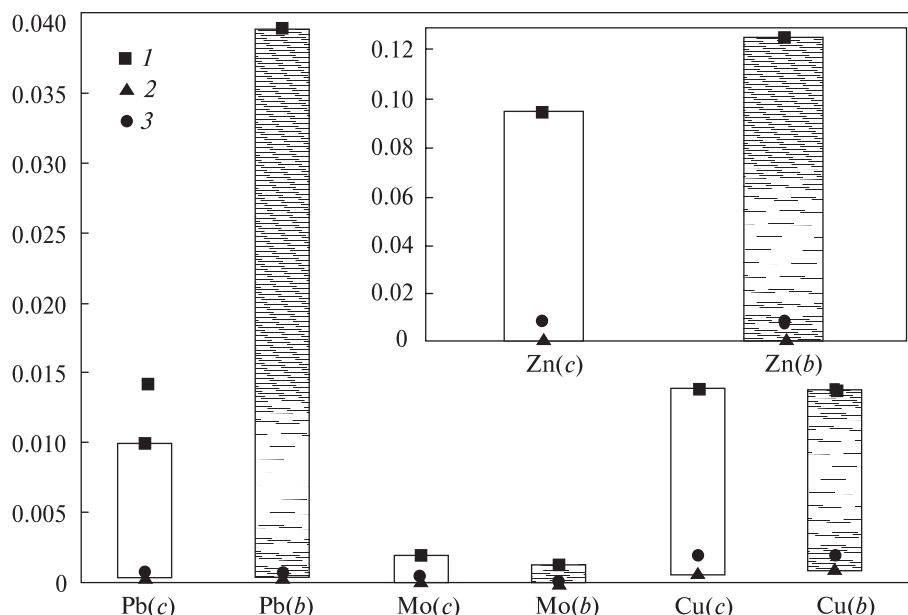


Рис. 3. Розподіл важких металів у бюветній воді м. Київ, мг/дм³: 1 — байоський водоносний горизонт, 2 — сеноман-келовейський водоносний комплекс

Fig. 3. Heavy metals distribution in well-room's groundwater of Kyiv, mg/cub.dm³: 1 — Bajocian aquifer; 2 — Cenomanian-Callovian groundwater complex

Рис. 4. Діаграми вмісту важких металів у бюветній воді Києва: (с) — сеноман-келовейський водоносний комплекс, (b) — байоський водоносний горизонт. Вміст: 1 — максимальний, 2 — мінімальний, 3 — медіана, мг/дм³

Fig. 4. Diagrams of heavy metals content in well-room's groundwater of Kyiv: (c) — Cenomanian-Callovian groundwater complex, (b) — Bajocian aquifer. Content: 1 — maximum, 2 — minimum, 3 — median, mg/cub.dm



Т.О. Кошляковою [5], були опубліковані в ряді наукових видань. Зокрема, за допомогою комплексу лабораторних методів (атомно-адсорбційного, емісійного спектрального, потенціометричного) досліджено геохімічні закономірності розподілу мікроелементів у питних артезіанських водах бортової частини Дніпровського артезіанського басейну на прикладі території м. Київ та його околиць. У результаті було виявлено просторові закономірності роз-

мірності розподілу мікроелементів у питних артезіанських водах бортової частини Дніпровського артезіанського басейну на прикладі території м. Київ та його околиць. У результаті було виявлено просторові закономірності роз-

поділу хімічних елементів, оцінено еколого-гідрогеохімічний стан та біогеохімічні особливості досліджуваних вод, розраховано біологічно значущу концентрацію хімічних елементів, що можуть впливати на мікроелементний баланс людини. Досліджено зміни хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу м. Київ, пов'язані з діяльністю людини, з метою оцінки екологічних наслідків техногенного втручання в геологічне середовище. Як індикатор антропогенного впливу на підземну гідросферу розглянуто величину активності тритію. З цією метою застосовано метод рідинної сцинтиляційної радіометрії, завдяки чому виділено найуразливіші до забруднення ділянки території м. Київ, у межах яких відбувається інтенсифікація інфільтраційного живлення крізь літологічні "вікна" та зони послаблення водотривких порід.

Зважаючи на актуальність проблеми забруднення підземних вод важкими металами, ми виконали дослідження вмісту Pb, Mo, Cu та Zn у межах Київського родовища підземних вод. За допомогою статистичних методів опрацьовано результати хімічного аналізу води для 123 бюветних свердловин, 68 з яких експлуатують сеноман-келовейський водоносний комплекс, а 55 — байоський водоносний горизонт. Графічне зображення вибіркового розподілу виконано у вигляді гістограм (рис. 3). Результати статистичної обробки представлено на рис. 4 та у табл. 2.

У результаті досліджень і розрахунків у більшості випадків для вибірок мікроелементів закон розподілу встановити, на жаль, не вдалося. Логнормальний закон було встановлено для Cu у сеноман-келовейському водоносному комплексі та для Mo, Cu і Zn у байоському водоносному горизонті. Логнормальний розподіл вказує на те, що на концентрацію досліджуваного показника у воді впливає переважно один чинник (техногенного або природного походження) [2]. Неможливість встановлення закону розподілу для решти вибірок може свідчити про нерівномірність розподілу точок відбору проб по площі або територіальна належність бюветів до різних геоморфологічних районів м. Київ. У середньому концентрація важких металів у байоському водоносному горизонті є більшою, ніж у сеноман-келовейському комплексі, що залягає вище. Ймовірно це може бути пов'язано з природним чинни-

ком — у водовмісних породах байоського горизонту наявні лінзи бурого вугілля (чорного лігніту), яке потенційно може містити домішки важких металів у своєму складі. Також, на нашу думку, свинець може надходити унаслідок висхідної фільтрації з водоносного горизонту у відкладах дронівської і сребрянської світ нижнього тріасу, що залягає на глибині 300—350 м і характеризується строкатим хімічним складом.

У трьох досліджуваних бюветах було виявлено перевищення ГДК за свинцем. Це свердловини, розташовані у провулку Василя Жуковського, на вулиці Маршала Тимошенка та у житловому масиві Корчувате. За картою забруднення ґрунтів Києва важкими металами [11] ці бювети розташовані на ділянках міста з незначним і 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 — товща строкатих і червоно-бурих глин міоцен-пліоцену і 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 спостерігаються великі локальні депресійні воронки сеноман-келовейського водоносного комплексу.

Висновки. У результаті дослідження (на прикладі Київського родовища підземних вод) встановлено гідрогеохімічні особливості питних підземних вод бортової частини Дніпровсько-Донецького артезіанського басейну. За результатами статистичної обробки результатів хімічного аналізу бюветних вод м. Київ за вмістом деяких мікроелементів було виявлено незначне перевищення ГДК за свинцем у кількох свердловинах. Окрім того, виявлено, що середні значення концентрації важких металів у підземній воді глибшого, байоського водоносного горизонту, є вищими за аналогічні значення сеноман-келовейського водоносного комплексу, який залягає ближче до денної поверхні. Ми припускаємо, що у даному випадку існує взаємодоповнювальний вплив природних та техногенних факторів, що й ви-

значає вміст цих мікроелементів у глибинних водоносних горизонтах ДДАБ. До природних чинників можна віднести літологічний склад водовмісної товщі, а саме наявність лінз бурого вугілля у байоському водоносному горизонті. До техногенних факторів — забруднення ґрунтів важкими металами, виклинування водотривких шарів порід перекриття уздовж р. Дніпро, інверсію гідродинамічного потоку підземних вод, приурочених до локальних депресійних воронок у сеноман-келовейському водоносному комплексі.

Вважаємо, що перспективним є проведення подальших досліджень, спрямованих на виявлення власне міграційних форм мікро- та ультрамікроелементів у підземних водах за допомогою методу термодинамічного моделювання, що базується на принципах часткової та локальної рівноваги і зводиться до встановлення закономірностей зміни хімічного складу

та умов існування послідовних рівноважних станів. Ця методика об'єднує використання методу балансу та методу розрахунку рівноважного стану і дає змогу прогнозувати зміни в часі складу як підземних вод, так і водовмісних порід [12].

Застосування термодинамічного моделювання надасть змогу зрозуміти природу надходження мікро- та ультрамікроелементів до глибинних водоносних горизонтів ДДАБ. Окрім того, видається доцільним вивчення мікро- та ультрамікрокомпонентного складу порових розчинів слабопроникних шарів, які посилюють взаємодію з низхідними потоками у зонах депресійних воронок. Для розширення спектра досліджуваних компонентів хімічного складу підземних вод вважаємо доцільним у подальшому використовувати чутливіші аналітичні методи, а саме метод маспектрометрії з індукційно зв'язаною плазмою.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гончарук В.В. Особенности происхождения воды на планете Земля. Новые подходы к оценке качества. *Химия и технология воды*. 2018. **40**, № 1(261). С. 3—21.
2. Девис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии: В 2 кн. М.: Недра, 1990. Кн. 1. 319 с.
3. Жовинский Э.Я., Крюченко Н.О. Радон в окружающей среде г. Киев и г. Афины. *Пошукова та екологічна геохімія*. 2007. **6**, № 1. С. 32—35.
4. Злобіна К.С. Геохімія питних артезіанських вод бортової частини Дніпровського артезіанського басейну (на прикладі м. Київ): автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2013. 20 с.
5. Кошлякова Т.О. Техногенна еволюція хімічного складу підземних вод сеноман-келовейського водоносного комплексу на території м. Київ: автореф. дис. ... канд. геол. наук. Київ, 2015. 21 с.
6. Мінеральні ресурси України. URL: <http://minerals-ua.info/golovna/vodi-pidzemni> (дата звернення: 02.01.2020).
7. Музгин В.Н., Емельянова Н.Н., Пупышев А.А. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой — новый метод в аналитической химии. *Аналитика и контроль*. 1998. № 3—4. С. 3—25.
8. Осадчий В.І. Методологічні основи дослідження чинників та процесів формування хімічного складу поверхневих вод України: автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук. Київ, 2008. 32 с.
9. Рудько Г. Медична геологія — новий напрям розвитку науки та практики. *Геолог України*. 2012. № 4. С. 48—51.
10. Самчук А.І., Кураєва І.В., Гродзинська Г.А. Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу. Київ: Наш формат, 2019. 164 с.
11. Сидоренко О.А., Приходько В.Ф. Екологічний атлас Києва. Київ: Інтермедіа, 2006. 60 с.
12. Шестопапов В.М., Климчук А.Б., Онищенко І.П. Развитие гидрогеологии в мире и гидрогеологические исследования в Институте геологических наук НАН Украины. *Геол. журн.* 2018. **364**, № 3. С. 6—58. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.3.142261>
13. Abrahan Mora, Jurgen Mahlknecht, Laura Rosales-Lagarde, Arturo Hernandez-Antonio. Assessment of major ions and trace elements in groundwater supplied to the Monterrey metropolitan area, Nuevo Leyn, Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*. **189**. 2017. P. 394 (1—15). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6096-y>
14. Akhilesh Jinwal, Savita Dixit, Suman Malik. Some Trace Elements Investigation in Ground Water of Bhopal & Sehere District in Madhya Pradesh: India. *J. Applied Sciences and Environmental Management*. **13**(4). 2009. P. 47—50.
15. Arunas Jurevicius, Jonas Diliunas, Edmundas Jagminas, Vaclovas Bajorinas. Migration forms of chemical elements in shallow groundwater in Lithuania. *Polish Geological Institute Special Papers*. **18**. 2005. P. 39—44.
16. Sajjad Hussain, Muhammad Habib-Ur-Rehman, Tasawar Khanam, Abbas Sheer, Zhang Kebin, Yang Jianjun. Health risk assessment of different heavy metals dissolved in drinking water. *Int. J. Environmental Research and Public Health*. **16**. 2019. P. 1737(1—14). <https://doi.org/10.3390/ijerph16101737>

Надійшла 20.01.2020

REFERENCES

1. Goncharuk, V.V. (2018), *Himiya i tehnologiya vody*, Vol. 40, No. 1(261), Kyiv, UA, pp. 3-21 [in Russian].
2. Devis, Dzh.S. (1990), *Statisticheskiy analiz dannyh v geologii*, Book 1, Nedra, Moscow, RU, 319 p. [in Russian].
3. Zhovinskiy, E.Ya. and Kryuchenko, N.O. (2007), *Poshukova ta ekolohichna heokhimiia*, No. 1(6), Kyiv, UA, pp. 32-35 [in Russian].
4. Zlobina, K.S. (2013), *Heokhimiia pytykh artezianskykh vod bortovoi chastyny Dniprovskoho artezianskoho basynu (na prykladi m. Kyiv)*, Avtoref. dis. kand. geol. nauk, Kyiv, UA, 20 p. [in Ukrainian].
5. Koshliakova, T.O. (2015), *Tekhnohenna evoliutsiia khimichnoho skladu pidzemnykh vod senoman-keloveiskoho vodonosnoho kompleksu na terytorii m. Kyiv*, Avtoref. dis. kand. geol. nauk, Kyiv, UA, 21 p. [in Ukrainian].
6. (2019) *Mineralni resursy Ukrainy*, available at <http://minerals-ua.info/golovna/vodi-pidzemni> (Last accessed: 02.01.2020) [in Ukrainian].
7. Muzgin, V.N., Emelyanova, H.H. and Pupyshev, A.A. (1998), *Analitika i kontrol*, No. 3-4, Ekaterinburg, RU, pp. 3-25 [in Russian].
8. Osadchyi, V.I. (2008), *Metodolohichni osnovy doslidzhennia chynnykiv ta protsesiv formuvannia khimichnoho skladu poverkhnelykh vod Ukrainy*, Avtoref. dis. kand. geol.-min. nauk, Kyiv, UA, 20 p. [in Ukrainian].
9. Rudko, H. (2012). *Geolog Ukrainy*, No. 4, Kyiv, UA, pp. 48-51 [in Ukrainian].
10. Samchuk, A.I., Kuraieva, I.V. and Hrodzynska, H.A. (2019), *Vazhki metaly v ob'ektakh dovkillia Kyivskoho mehapolisu*, Nash format press, Kyiv, UA, 164 p. [in Ukrainian].
11. Sydorenko, O.A. and Prykhodko, V.F. (2006), *Ekolohichniy atlas Kyieva*, Intermedia press, Kyiv, UA, 60 p. [in Ukrainian].
12. Shestopalov, V.M., Klimchuk, A.B. and Onischenko, I.P. (2018), *Geol. zhurn.*, Vol. 364, No. 3, Kyiv, UA, pp. 6-58. <https://doi.org/10.30836/igs.1025-6814.2018.3.142261> [in Russian].
13. Abraham Mora, Jurgen Mahlkecht, Laura Rosales-Lagarde and Arturo Hernandez-Antonio (2017), *Environmental Monitoring and Assessment*, Vol. 189, pp. 394 (1-15). <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6096-y>
14. Akhilesh Jinwal, Savita Dixit and Suman Malik (2009), *J. Applied Sciences and Environmental Management*, Vol. 13 (4), pp. 47-50.
15. Arunas Jurevicius, Jonas Diliunas, Edmundas Jagminas and Vaclovas Bajorinas (2005), *Polish Geological Institute Special Papers*, Vol. 18, pp. 39-44.
16. Sajjad Hussain, Muhammad Habib-Ur-Rehman, Tasawar Khanam, Abbas Sheer, Zhang Kebin, Yang Jianjun (2019), *Int. J. Environmental Research and Public Health*, Vol. 16, pp. 1737(1-14). <https://doi.org/10.3390/ijerph16101737>

Received 20.01.2020

I.V. Kuraieva, DrSc (Geology), Prof., Head of Department.

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: KI4412674@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-3113-7782>

T.O. Koshliakova, PhD (Geology), Senior Research Fellow.

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: geol@bigmir.net

<https://orcid.org/0000-0001-8551-3531>

K.S. Zlobina, PhD (Geology), Research Fellow.

M.P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine
34, Acad. Palladin Ave., Kyiv, Ukraine, 03142

E-mail: ecaferinka@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0001-8823-4642>

PECULIARITIES OF Pb, Mo, Cu AND Zn DISTRIBUTION IN WATER OF ARTESIAN AQUIFERS (WITHIN KYIV DEPOSIT)

In the article, the authors present their own results of the study of hydrogeochemical peculiarities of distribution of leading ecological-forming microelements (Pb, Mo, Cu and Zn) in potable artesian aquifers of Kyiv groundwater field. A comparative analysis of the values of maximum permissible concentrations (MPC) of the main macro- and microelements for potable groundwater in accordance with domestic and foreign regulatory documents was done. It was concluded that the most stringent as to the content of macroelements are the requirements of the World Health Organization, and as to the content of microelements are domestic standards, namely the Sanitary Rules (SanPiN 2.2.4-171-10). By use of statistical methods, the authors analysed the investigated microelements in groundwater timed to Cenomanian-Calloviaian groundwater complex and Bajocian aquifer. As a result of the research the MPC excess for lead was established in single wells. In addition, it was found that the average concentrations of microelements in Bajocian aquifer are higher than that of Cenomanian-Calloviaian complex. It was suggested that the natural (lithological composition of the water-bearing stratum) and technogenic (aeration zone pollution by heavy metals, confining bed pinching out along the Dnieper River, hydrodynamic flow inversion) factors are mutually reinforcing, which affects the content of these trace elements in deep aquifers of the Dnieper-Donetsk artesian basin. The authors emphasize the need for further research aimed at establishing patterns of distribution and forms of migration of micro- and ultramicroelements in groundwater by use of thermodynamic modeling method.

Keywords: groundwater, ecological-forming microelements, maximum permissible concentration, environmental hydrogeochemistry, heavy metals, Kyiv deposit.