

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 550.4-047.26:556.3:553(477.72-25)
DOI: <http://doi.org/10.17721/1728-2713.106.09>

Тетяна КОШЛЯКОВА, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
ORCID ID: 0000-0001-8551-3531
e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com

Інститут геохімії, мінералогії та рудоутворення імені М. П. Семененка НАН України, Київ, Україна

Олексій КОШЛЯКОВ, д-р геол. наук, проф.
ORCID ID: 0000-0003-3090-4855
e-mail: kosh_57@ukr.net

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ЗМІНИ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ПИТНИХ ПІДЗЕМНИХ ВОД ХЕРСОНСЬКОГО РОДОВИЩА ЗА ДАНИМИ ТРИВАЛИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ У ДОВОЄННІ ЧАСИ

(Представлено членом редакційної колегії д-ром геол. наук, ст. наук. співроб. О. Л. Шевченком)

Вступ. Після руйнування Каховської ГЕС, водозливної греблі та спрацювання Каховського водосховища питання забезпечення водою українського півдня постало дуже гостро. Найболючішою ця проблема є саме для Херсонської обл. У зв'язку із цим виникла необхідність проведення моніторингових досліджень за якістю підземних вод, що слугують джерелом водопостачання для населення Херсона. Аналіз змін основних показників хімічного складу підземних вод у часі дає змогу оцінити потенційні ризики для здоров'я споживачів і вийти на прогностичні оцінки стану досліджуваної гідрогеологічної системи.

Методи. У процесі виконання роботи були застосовані математико-статистичний, графо-аналітичний методи дослідження, виконано порівняльний аналіз та здійснено побудови за допомогою спеціалізованого програмного засобу GW_Chart.

Результати. Виявлено високу кореляцію між величиною водовідбору і перманганатною окиснюваністю та вмістом фтору. Встановлено, що протягом досліджуваного періоду (із 2009 до 2021 р.) сталися зміни у загальному хімічному складі підземних вод – у катіонному складі відбувся перехід від кальцієво-магнієвого до натрієво-калієвого, в аніонному – від хлоридно-гідрокарбонатного до гідрокарбонатно-хлоридного. Виконано оцінку неканцерогенного ризику за безпороговим методом для Mn та F . З'ясовано, що за F рівень небезпеки є надзвичайно високим, а за Mn – катастрофічним.

Висновки. Зроблено висновок про те, що підземні води у відкладах верхнього сармату, які експлуатуються більшістю обстежених свердловин, на території м. Херсона мають складну спрямованість змін хімічного складу, залежно від умов їхнього формування, що визначаються комплексом природних і техногенних чинників. Ключову роль відіграють: фільтраційні властивості водотривких шарів у покриві водоносного горизонту, наслідки від скидання госпфекальних вод до відкладів меотису-понтю, відсутність централізованої каналізації в межах приватного сектору, живлення поверхневими водами р. Дніпро, конструктивні особливості свердловин, експлуатаційні навантаження на водоносний горизонт. Загалом можна стверджувати, що якісний склад підземних вод зазнає суттєвих змін. Усі ці чинники надають території родовища чітко вираженої площинної, а в деяких випадках і вертикальної гідрохімічної зональності підземних вод.

Ключові слова: підземні води, гідрогеохімія, Херсонське родовище, моніторингові дослідження, оцінювання ризику.

Вступ

Забезпечення водної безпеки України є важливим стратегічним завданням, адже від стану водних ресурсів країни залежить розвиток усіх галузей економіки. Споживачі 40 % території нашої країни використовують воду, що не відповідає вимогам вітчизняних нормативних документів. За даними ООН, станом на 2022 рік Україна посідала 66 місце серед 180 країн за якістю питної води. У сучасних умовах збройної російської агресії та подальшого повоєнного відновлення проблема забезпечення населення якісною питною водою набуває ще більшої актуальності. Після руйнування Каховської ГЕС, водозливної греблі та спрацювання Каховського водосховища питання забезпечення водою українського півдня постало ще гостріше. Найбільш болючою ця проблема є саме для Херсонської обл.

Централізоване водопостачання м. Херсон забезпечується, зокрема, з підземного джерела – Херсонського родовища питних підземних вод за допомогою артезіанських свердловин. За свідченням вітчизняних учених, основним джерелом водопостачання міста є верхньосарматський водоносний горизонт, який використовується його населенням з XIX ст. (Охріменко, Біла, & Ляшенко, 2019). У той час вода мала мінералізацію від 246 до 854 мг/дм³. Проте зі збільшенням водопостачання відбулося порушення технології експлуатації артезіанських свердловин. Нині 76 % водозабірних споруд у Херсоні експлуатуються з перевищенням нормативного терміну,

30 % свердловин подають воду з відхиленням від державних стандартів за солемістом. Крім того, у процесі експлуатації конкретного водоносного шару відбувається приплив небажаних інгредієнтів з інших горизонтів по всій площі депресії. Для артезіанських вод Херсона головними такими інгредієнтами є катіони й аніони легкорозчинних солей металів, а інколи – амоніаку, нафтопродуктів, сполук нітрогену. За даними вітчизняних учених (Щербак, 2014; Охріменко, Біла, & Ляшенко, 2019) прогресивне погіршення якості питної води в Херсоні відбувається протягом кількох останніх десятиріч. Особливо небезпечним чинником є просочування сильно забруднених вод з верхнього шару в продуктивний водоносний горизонт. Забруднення неогенового шару під Херсоном стає вже тепер небезпечним для його використання як джерела питних вод. Крім того, із середини 90-х років минулого століття з'явилися незаконно пробурені свердловини в приміських зонах Херсона. Ураховуючи недотримання правил спорудження, розміщення, вимог санітарних норм, такі свердловини також здійснюють негативний вплив на екологічний стан підземної гідросфери.

Іншою проблемою Херсону є підтоплення території, що загрожує безпеці проживання населення, негативно впливає на стан підземних комунальних мереж житлових і промислових будівель, транспортної мережі. Це явище зумовлено як природними чинниками, так і негативними наслідками діяльності людини. Це – безстічний рельєф з природними подовими пониженнями (район залізничного

© Кошлякова Тетяна, Кошляков Олексій, 2024

вокзалу, Млини, Північний, Текстильників), відсутність природного дренажу, що пов'язано зі знищенням ярів. Значно загострили цю проблему збільшення площі забудови, зменшення зелених зон, витікання води з водопровідних і каналізаційних мереж під час аварій, порушення нормальної роботи систем дощової каналізації, останнім часом – наслідки військових дій.

Зазначені чинники свідчать про необхідність проведення моніторингових досліджень за якістю підземних вод, які слугують джерелом водопостачання для населення Херсону. Аналіз змін основних показників хімічного складу підземних вод у часі дасть змогу оцінити потенційні ризики для здоров'я споживачів і вийти на прогностичні оцінки стану досліджуваної гідрогеологічної системи.

Аналіз публікацій за темою досліджень. Проблемі погіршення якості питних підземних вод м. Херсона вчені розглядали в низці публікацій останніх років. Зокрема, дисертаційне дослідження О. Щербак було присвячене регіональній оцінці просторово-часових закономірностей зміни еколого-гідрогеологічних умов верхньоміоценового водоносного комплексу у зв'язку з проблемою екологічної безпеки питного водопостачання на території Херсонської обл. (Щербак, 2015). Авторка звернула увагу на тенденцію до скорочення ресурсів питних підземних вод на території південних та південно-східних областей України, де під впливом комплексу природних і техногенних факторів розвивається процес регіонального засолення прісних підземних вод, зокрема й основних експлуатаційних водоносних горизонтів. Найбільших масштабів цей процес набув у межах саме Херсонської обл., де, за попередню оцінку, відбулося зменшення ресурсів прісних підземних вод на 20 % із часів регіонального оцінювання. О. Охріменко зі співавторами (Охріменко, Біла, & Ляшенко, 2019) представили результати гідрохімічного аналізу водопровідної води з різних районів м. Херсона, а також навели критерії якості та показники фізіологічної повноцінності мінерального складу досліджуваної питної води. Автори виявили, що якість питної води відповідає стандартам лише в окремих районах міста, а найкращі показники має вода, що постачається зі свердловини на Карантинному острові, тому на перспективу для забезпечення м. Херсона екологічно чистою питною водою необхідно облаштовувати водозабори на лівобережжі області. Науковий інтерес викликають і публікації В. Малєєва та В. Безпальченко (Малєєв, & Безпальченко, 2020), а також Л. Василюк і О. Непші (Василюк, & Непша, 2018). Автори розглядали питання щодо водопостачання та водовідведення в населених пунктах Херсонщини та запропонували першочергові заходи з реформування водного господарства області. Наголошувалося на тому, що стратегія водопостачання та водовідведення в Херсонській обл. має спиратися на основні положення Водного кодексу України та нормативні акти Євросоюзу.

Загалом слід зауважити, що кількість публікацій, які містять практичні дані щодо багаторічної динаміки показників хімічного складу підземних вод, є незначною.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми. Зважаючи на складні природні умови живлення та розповсюдження продуктивних водоносних горизонтів Херсонського родовища, вкрай необхідно впровадити систему моніторингових досліджень. За відсутності такої системи, виходом є залучення архівних і фондових даних за попередні роки. Історія експлуатації окремих свердловин, що використовуються для централізованого водопостачання населення міста, сягає понад 50 років. Також виникає необхідність оцінювання ризиків для здоров'я

населення з позиції споживання води неприйнятної якості. Автори статті, окрім класичного підходу, що передбачає порівняння окремих показників хімічного складу підземних вод із гранично допустимими концентраціями відповідно до вітчизняних нормативів, виконали оцінювання неканцерогенного ризику за безпороговим методом за окремими мікроелементами (Bernard, 2003).

Мета дослідження – виявлення особливостей змін хімічного складу питних підземних вод Херсонського родовища, що використовується для питного постачання населення м. Херсон, за даними тривалих спостережень у довоєнні часи. У статті використано також останні звітні матеріали щодо експлуатаційних запасів досліджуваного родовища підземних вод (Лизогуб, 2021).

Методи

Під час виконання дослідження авторами використано порівняльний метод, прийоми математичної статистики з побудовою графіків і діаграм. З метою з'ясування ризику для здоров'я населення виконано оцінювання неканцерогенного ризику за безпороговим методом щодо окремих мікроелементів.

Характеристика території дослідження. 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. Проте 76 % свердловин експлуатуються з перевищенням нормативного терміну, що становить 24 роки (Охріменко, Біла, & Ляшенко, 2019). Абсолютна більшість свердловин каптують водоносний горизонт у відкладах верхньосарматського підрегіонарусу верхнього міоцену, за винятком деяких свердловин у 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", що були переобладнані на водоносний горизонт у відкладах середнього сармату. Хімічний склад підземних вод по площі Херсонського родовища є досить неоднорідним. Переважають води хлоридно-гідрокарбонатного магнієво-кальцієво-натрієвого складу з мінералізацією до 1 г/дм³, зустрічаються також води з мінералізацією до 3 г/дм³ сульфатно-хлоридного та хлоридного складу. За складністю геологічної будови родовище належить до II групи – зі складними умовами (Лизогуб, 2021).

Досліджені свердловини пробурені у 1957–2018 рр. Глибини становлять від 21,1 до 127,0 м. На жаль, через відсутність даних про глибину та конкретний час відбору проб води в окремих свердловинах, а також з огляду на значну тривалість експлуатації водозабору автори мають можливість розглядати отримані результати лише як усереднені проби з водоносної системи, яку досліджують.

Підземні води більшості свердловин відповідають ДСанПіну 2.2.4-171-10 "Вимоги до питної води, призначеної для споживання людиною". Щодо деяких свердловин ділянок "Кіндійська-I", "Кіндійська-II", "Верхньо-Антонівська", а також свердловин, розташованих у межах західної та південної (історична частина міста) ділянок "Херсонська-I", "Херсонська-II" відмічаються відхилення в бік перевищення в підземних водах допустимих концентрацій хлоридів, сульфатів, загальної жорсткості, сухого залишку та вмісту азотних сполук.

Особливість регіонального водозабору полягає в тому, що він розміщується безпосередньо в межах промислово-міської агломерації м. Херсона.

У геоструктурному сенсі територія досліджень належить до Причорноморської западини. Кристалічний

фундамент залягає на глибині близько 1800 м. Причорноморська западина виповнена мезозой-кайнозойськими відкладами. Водовмісними породами є практично усі пористі та тріщинуваті різновиди порід. Більшість із них (крім понтичних і четвертинних) залягають нижче сучасного базису ерозії. Найбільший інтерес викликає товща від четвертинних і неогенових відкладів (зона активного водообміну), що містить підземні води, придатні для використання в господарчо-питних цілях, і перший від поверхні регіонально витриманий водотривкий шар середнього та нижнього сармату, до відкладів верхнього олігоцену, представлених переважно глинистими породами, які знизу обмежують зону активного водообміну (Лизогуб, 2021).

Середньосарматський підрегіонарус (N_1s_2). Відклади середнього сармату поширені по всій території, залягають на породах нижнього сармату. Представлені в нижній частині розрізу темно-сірими, чорними глинами. Вище глин залягає пачка дрібнозернистих пісків потужністю до 40 м. Верхню частину шару утворюють вапняки світло-сірі, органогенно-уламкові, іноді доломітизовані. Загальна потужність середньосарматських відкладів збільшується з півночі на південь від 45,4 до 86,2 м.

Верхньосарматський підрегіонарус (N_1s_3). Відклади верхнього сармату поширені повсюдно. Розрізи порід невитримані, зустрічаються часті фаціальні заміщення та перешарування вапняків, мергелів і глин, рідше піски. Вапняки білі, світло-сірі пелітоморфні, органогенні, оолітові, черепашкові; глини зеленувато-сірі, щільні, в'язкі; мергелі світло-сірі, вапняковисті. Загальна потужність верхньосарматських відкладів збільшується з півночі на південь та південний схід і змінюється із 21,4 до 60 м. Глибина залягання покрівлі 21,5–65 м.

Меотичний регіонарус (N_1m). Відклади меотичного регіонарусу поширені по всій території за винятком долини р. Дніпро. Залягають вони з переривом на верхньосарматських відкладах. Літологічно відклади представлені породами відкритого морського басейну: вапняками світло-сірими, білими, жовтуватими-сірими органогенними, уламковими, оолітовими, рідше мергелями світло-сірими, глинами зеленувато-сірими, піщанистими. Потужність меотичних відкладів збільшується з північного сходу на південний захід від 7 до 28,3 м.

Понтичний регіонарус (N_1p). Відклади понтичного регіонарусу поширені майже по всій території, за винятком ділянки на сході району, що розмита кімерійською трансгресією, та долини р. Дніпро. Залягають породи понтичного регіонарусу з переривом на меотичних відкладах. Генетично відклади представлені породами мілководного морського басейну: вапняками-черепашниками жовтого, буруватого та сіруватого-жовтого кольору, перекристалізованими, кавернозними. Покрівля вапняків понтичного ярусу заглиблюється з півночі на південь. Максимальна потужність досягає 9 м.

З позиції гідрогеології територія входить до Причорноморського артезіанського басейну пластових напірних вод, який завдяки частому чергуванню пластів колекторів з водотривкими шарами містить велику кількість водоносних горизонтів.

Водоносні горизонти у відкладах меотичного та понтичного регіонарусів верхнього міоцену (N_1m+N_1p) на території району досліджень не поділені водотривкими шарами й утворюють спільну водоносну систему. Водовмісні породи представлені органогенно-детритусовими, оолітовими вапняками буруватого-сіруватого-жовтого кольору, тріщинуватими, кавернозними. Водоносний інтервал напірно-безнапірний. Залягає на

глибині від 15 до 41 м. Потужність водоносного інтервалу коливається від 8,5 до 32,6 м. Існують окремі ділянки, де водоносний горизонт залягає першим від поверхні і не перекритий водотривкими відкладами. За хімічним складом води хлоридно-сульфатні, сульфатно-хлоридні з мінералізацією від 1 до 4,6 г/дм³. На території м. Херсона цей водоносний горизонт до початку 70-х років використовували як колектор для скидання відпрацьованих і госпфекальних вод та обмежено використовували для технічного водопостачання.

Водоносний горизонт у відкладах верхньосарматського підрегіонарусу верхнього міоцену (N_1s_3). Водовмісні породи представлені вапняками білими, світло-сірими, пелітоморфними, оолітовими, тріщинуватими. У підшві горизонту зустрічаються глини й мергелі того ж віку потужністю 1,5–4 м. У місцях їхньої відсутності має зв'язок із середньосарматським водоносним горизонтом. Потужність водоносного інтервалу змінюється від 13 до 26 м і збільшується в південному напрямку. Глибина залягання покрівлі до 46 м. Абсолютні відмітки покрівлі від 20 до 0 м. Унаслідок експлуатації Херсонського родовища підземних вод у цьому водоносному горизонті утворилася депресійна воронка. Води різного хімічного складу – гідрокарбонатні, гідрокарбонатно-хлоридні, хлоридно-гідрокарбонатні, хлоридні, хлоридно-сульфатні з мінералізацією від 0,2–0,5 г/дм³ на ділянках заплави; до 0,5–2,3 г/дм³ і більше на іншій території. Найбільші значення фонові мінералізації припадають на ті ділянки, де з поверхні глини повністю відсутні, або яким властива висока проникність верхньопліоцен-нижньоплейстоценових глин. Це сприяє потраплянню до нього через буферні меотис-понтичні шари разом з атмосферними, техногенними водами та розвантаженням ґрунтових вод розчинених солей із лесоподібних суглинків і "сухих" вапняків понтичного регіонарусу, а також різного роду забруднень. Тип води при цьому змінюється з гідрокарбонатного, хлоридно-гідрокарбонатного на хлоридний, сульфатно-хлоридний. Живлення водоносного горизонту відбувається за межами родовища на схилі Українського кристалічного щита, а також на території поширення Олешківських пісків, у ярах і балках (де він виходить на поверхню) завдяки атмосферним опадам, перетокам із нижче- і вищезалеглих водоносних горизонтів, річкових вод Дніпра.

Водоносний горизонт у відкладах середньосарматського підрегіонарусу верхнього міоцену (N_1s_2) поширений у підшві верхньосарматського, часто без роздільного водотривкого шару. Літологічно представлений переважно пісками дрібнозернистими, глинистими, на півночі в покрівлі шару вапняками. За своїми якісними характеристиками підземні води мають площинну зональність. У заплаві Дніпра та прибережній зоні це води гідрокарбонатного, хлоридно-гідрокарбонатного натрієвого складу з мінералізацією 0,2–0,7 г/дм³. З віддаленням від берегової лінії зростає їхня мінералізація до 1,3–2,8 г/дм³, хімічний склад змінюється на хлоридний, сульфатно-хлоридний, суттєво зростає частка кальцію та магнію в катіонному складі.

Результати

На першому етапі дослідження було обрано ключові показники фізіологічної повноцінності складу питної води, а саме – основні катіони й аніони – HCO_3 , SO_4 , Cl , Na , K , Ca , Mg , а також NH_4 , F , сухий залишок, загальну жорсткість, рН та перманганатну окиснюваність. Для цих показників було виконано порівняння з величиною водовідбору в часі. Часовий проміжок, протягом якого вивчався зв'язок, охоплював понад 10 років – із 2009 до 2020 р. Окрім побудов, були обраховані коефіцієнти кореляції Пірсона. Результати представлено на рис. 1 і 2, а також у табл. 1.

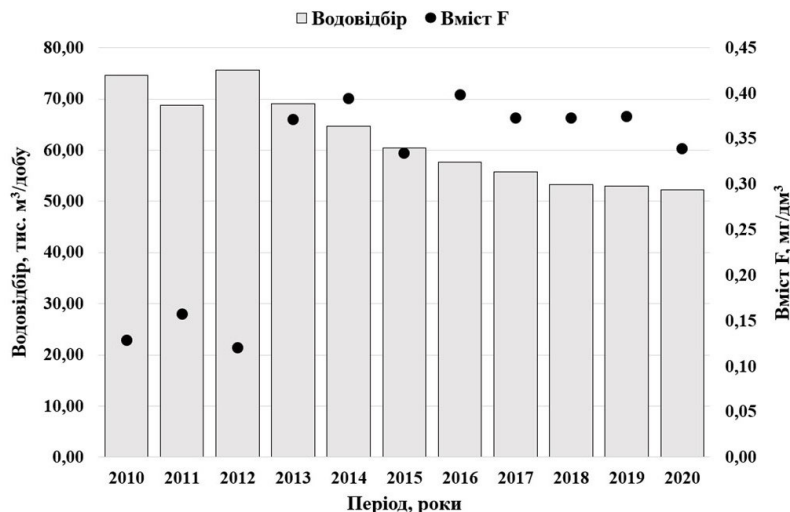


Рис. 1. Графік залежності величини водовідбору та вмісту фтору в досліджуваних підземних водах у період 2010–2020 рр. (водоносний горизонт у відкладах верхньосарматського підрегіоїрису верхнього міоцену)

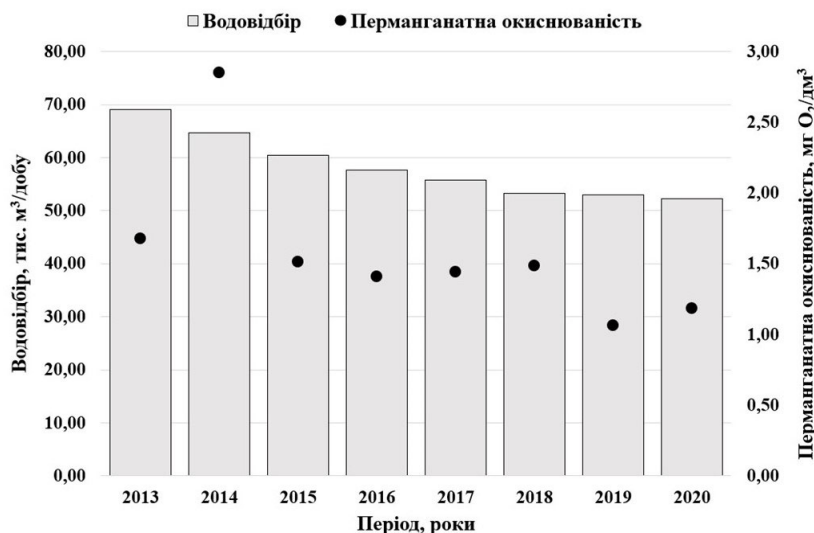


Рис. 2. Графік залежності величини водовідбору та перманганатної окиснюваності у досліджуваних підземних водах у період 2013–2020 рр. (водоносний горизонт у відкладах верхньосарматського підрегіоїрису верхнього міоцену)

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

З метою виконання оцінки зміни загального хімічного складу досліджуваних підземних вод у часі було побудовано діаграму Пайпера (рис. 3).

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

На наступному етапі дослідження авторами застосовано класичний підхід, згідно з яким концентрації компонентів хімічного складу досліджуваних вод порівнювали із гранично допустимими значеннями. Результати представлені у табл. 2. Було зафіксовано перевищення **гранично допустимих концентрацій** ГДК для таких показників як: сухий залишок, загальна жорсткість, SO₄, Cl та Na.

Нині уся суть фізичних і хімічних методів екологічного моніторингу зводиться до порівняння рівнів забруднення компонентів природно-територіальних комплексів, що оцінюються, зі встановленими гранично допустимими концентраціями. Однак сучасна система нормативів не здатна забезпечити екологічну безпеку, тобто захистити довкілля від негативних впливів природного й антропогенного генезису.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції Пірсона (R) між величиною водовідбору й основними показниками хімічного складу досліджуваних підземних вод

Коефіцієнт кореляції Пірсона (R)	Сухий залишок	Загальна жорсткість	Перманганатна окиснюваність	pH	NH ₄	Cl	SO ₄	F
Водовідбір	0,18	0,5	0,65	–0,4	0,42	0,25	0,14	–0,77

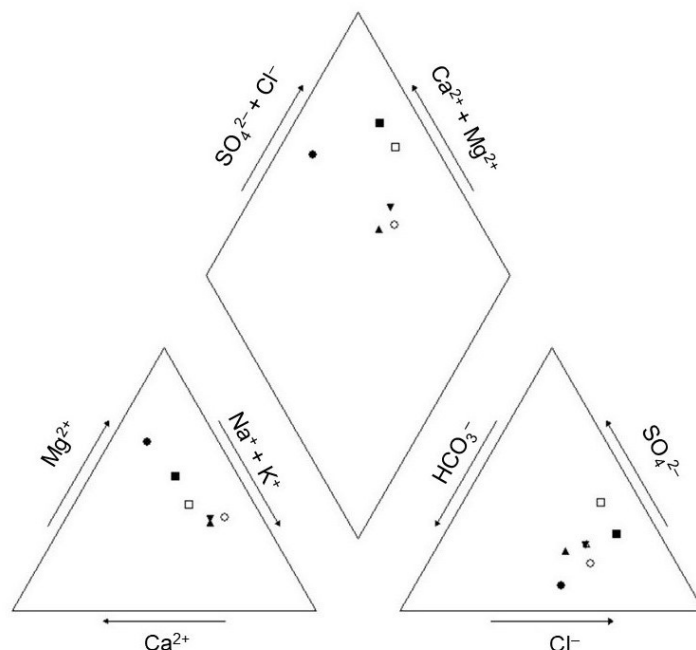


Рис. 3. Діаграма Пайпера, що відображає співвідношення основних катіонів й аніонів у досліджуваних підземних водах:

● – 2009 р., ○ – 2010 р., ■ – 2011 р., □ – 2012 р., ▲ – 2013 р., ◇ – 2015 р., ▼ – 2018 р.

Таблиця 2

Порівняння величин основних показників хімічного складу досліджуваних підземних вод із ГДК згідно з актуальними нормативами

Показник хімічного складу	Діапазон значень	ГДК за ДСТУ 7525:2014*	ГДК за ДСанПіН 2.2.4-171-10**
Сухий залишок, мг/дм³	260–3224	1000	1000
Загальна жорсткість, мг-екв/дм³	3,9–23,7	7	7
pH	7,5–8,2	6,5–8,5	6,5–8,5
Перманганатна окиснюваність, мгО₂/дм³	1,1–2,9	5	5
HCO₃⁻, мг/дм³	143–348	не нормується	не нормується
SO₄, мг/дм³	19–856	250	250
Cl, мг/дм³	38–709	250	250
Ca, мг/дм³	31–832	не нормується	не нормується
Mg, мг/дм³	44–132	не нормується	не нормується
Na+K, мг/дм³	62–347	200	200
Mn, мг/дм³	0,01–0,02	0,05	0,05
F, мг/дм³	0,12–0,42	0,7	0,7

Примітки: * ДСТУ 7525:2014 Державний стандарт України "Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості"; ** ДСанПіН 2.2.4-171-10 Державні санітарні норми та правила "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною"

У зв'язку з обмеженням тривіальних підходів до визначення небезпеки для здоров'я людини з боку довкілля та неможливості встановлення прямих причинно-наслідкових зв'язків виникла необхідність використання сучасних методів оцінювання шкоди здоров'ю – методів аналізу ризику. Це дасть змогу оцінити реальну загрозу для здоров'я людини й обґрунтувати необхідність розроблення відповідних превентивних заходів. Зважаючи на це, на наступному етапі дослідження авторами було виконано оцінювання неканцерогенного ризику за безпороговим методом, що використовує величини безпечних доз, які є індивідуальною характеристикою кожної речовини (Bernard, 2003; Рой, 2017). Для розрахунку були взяті есенційні мікроелементи, біологічну роль яких доведено – Mn та F. Ризик визначали для Mn, що за органолептичним показником шкідливості належить до 3 класу небезпеки, та F, якому відповідає 2 клас небезпеки за санітарно-токсикологічним показником. Розрахунок ризику здійснювали за такою формулою:

$$Risk = 1 - \exp\left(\frac{\ln(0,84)}{ГДК \cdot K_3}\right) \cdot C,$$

де *Risk* – імовірність розвитку неспецифічних токсичних ефектів за хронічної інтоксикації (від 0 до 1); *C* – середня щоденна концентрація речовини, що надходить в організм людини з питною водою протягом життя. Для оцінювання ефектів, пов'язаних із тривалим впливом речовин, використовуємо середнє значення концентрацій за 3 роки; ГДК – гранично допустима концентрація речовин; *K*₃ – коефіцієнт запасу, який приймається залежно від вираженої імовірності віддалених наслідків.

Для аналізу одержаних величин неканцерогенного ризику використовуємо рангову шкалу за рівнями ризику, представленими в табл. 3.

Результати розрахунку ризику за наведеною формулою такі: для F *Risk* = 0,68, для Mn *Risk* = 0,99.

Отже, за F рівень небезпеки є надзвичайно небезпечним, а за Mn – катастрофічний.

Таблиця 3

Характеристика величин неканцерогенних ризиків (Рой, 2017)

Величина ризику	Рівень небезпеки	Опис
До 0,05	Прийнятний	Відсутні несприятливі медико-екологічні тенденції
0,05–0,16	Викликає занепокоєння	Виникає тенденція до зростання неспецифічної патології
0,16–0,5	Небезпечний	Виникає достовірна тенденція до зростання неспецифічної патології за появи одиничних випадків специфічної патології
0,5–0,84	Надзвичайно небезпечний	Виникає достовірне зростання неспецифічної патології за появи значної кількості випадків специфічної патології, а також тенденція до збільшення смертності населення
0,84–1	Катастрофічний	Забруднення довели в цьому разі перейшло в інший якісний стан (поява випадків хронічного отруєння, зміна структури захворюваності, достовірна тенденція до зростання смертності тощо)

Варто зауважити, що нині фахівцями розроблено низку різних методів обрахунку потенційних ризиків для здоров'я населення у зв'язку зі споживанням води неприйнятної якості. Розуміння ризиків від впливу хімічних речовин у довкіллі ускладнюється багатьма факторами, як-от: мінливість і сприйнятливність населення, тривалі затримки між критичним впливом і виявами хвороби, а також фоновий вплив довкілля. Існують також методологічні проблеми у визначенні відповідних ризиків за умов певних фонових впливів навколишнього середовища, оскільки він може змінити базові показники здоров'я або вплинути на реакцію цільової хімічної речовини. Детальніше методологію оцінювання ризиків представлено в роботі (Кошарна, 2023).

Проаналізувавши отримані результати, автори дійшли висновку, що підземні води у відкладах верхнього сармату, які експлуатуються більшістю обстежених свердловин, на території м. Херсона мають складну спрямованість змін хімічного складу, залежно від умов їхнього формування, що визначаються комплексом природних і техногенних чинників. Ключову роль тут відіграють:

- наявність у покрівлі водоносного горизонту водотривких шарів, їхні фільтраційні властивості;
- для крайових ділянок родовища – якісний склад підземних вод за його межами;
- для історичної центральної частини міста – наслідки від скиду госпфекальних вод до відкладів меотису-понту;
- відсутність централізованої каналізації в межах приватного сектору;
- живлення поверхневими водами р. Дніпро;
- конструктивні особливості свердловин;
- експлуатаційні навантаження на водоносний горизонт (Лизогуб, 2021).

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

Основною причиною особливостей поведінки таких показників хімічного складу досліджуваних підземних вод, як F та перманганатна окиснюваність (їхня висока кореляція з величиною водовідбору), автори вважають умови природної захищеності верхньосарматського водоносного горизонту від можливої фільтрації з поверхні. Покривні суглинки містять у собі легкорозчинні солі. На забудованих територіях роль поверхневого стоку зменшується в бік збільшення обсягів вертикальної фільтрації (Лизогуб, 2021). Там, де сформувався горизонт ґрунтових вод, роздільний шар пліоцен-нижньонеоплейстоценових глин є досить надійним, заважає потрап-ляння розчинених солей і забруднень до експлуатаційного горизонту. На ділянках, розташованих на схилах Дніпра, наявність такого шару не заважає забрудненню підземних вод, адже водотривкі глини тут мають значно меншу потужність. Крім того, вони є не настільки щільними внаслідок вивітрювання, а отже, більш

проникними. Можливі зміни хімічного складу через надходження у водоносну систему стічних і каналізаційних вод через брак фактичних даних не розглядали.

Автори припускають, що, потрапляючи до меотис-понтичного водоносного горизонту, фільтраційні води підвищують його природний рівень, додатково розчиняючи солі у відкладах понту (Лизогуб, 2021). Через роздільний шар меотичних глин, який є малопотужним, а іноді й зовсім відсутнім, ці води надходять до водоносного горизонту у верхньосарматських відкладах, значно погіршуючи його якість з позиції умов водопостачання. Загалом спостерігається тенденція до підтягування більш мінералізованих ґрунтових вод до водозабірних споруд унаслідок тривалої експлуатації свердловин. Також на формування якісного складу досліджуваних вод значний вплив має наявність у минулому так званих поглинальних колодязів, через які здійснювалося скидання госпфекалій та інших забруднених вод до відкладів понту. Якість ліквідаційного тампонажу таких колодязів є низькою.

Дискусія і висновки

Унаслідок проведеного дослідження було встановлено, що продуктивні водоносні горизонти Херсонського родовища питних підземних вод за якісним складом характеризуються строкатістю та неоднорідністю. У процесі вивчення багаторічної динаміки, урахувавши коливання величини водовідбору, виявлено високу додатну кореляцію між величиною цього показника та перманганатною окиснюваністю, а також високу від'ємну кореляцію між водовідбором і вмістом фтору. З'ясовано, що в доведений час відбулися зміни в загальному хімічному складі підземних вод – у катіонному складі відбувся перехід від кальцієво-магнієвого до натрієво-калієвого, в 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. Оцінка неканцерогенного ризику за безпороговим методом показала, що рівень небезпеки для здоров'я населення за показниками фтору є надзвичайно небезпечним, а за показниками мангану – катастрофічним.

Варто підкреслити, що, зважаючи на підриєв Каховської ГЕС, гідродинамічна та гідрогеохімічна обстановка регіону зазнала суттєвих змін, що потребує комплексу додаткових досліджень. Представлені у статті результати можуть бути корисними для встановлення фонових доведених показників у межах досліджуваної території.

Внесок авторів: Тетяна Кошлякова – написання (оригінальна чернетка), концептуалізація та формальний аналіз; Олексій Кошляков – написання (перегляд і редагування), валідація даних.

Подяка та джерела фінансування: Роботу виконано в межах наукової теми 0123U100510 "Гідрогеохімія мікроелементів селітебних ландшафтів України як основа раціонального природо-користування" Інституту геохімії, мінералогії та рудоутворення

імені М.П. Семененка НАН України. Автори висловлюють свою подяку авторам звіту, зокрема В. Лизогубу, за люб'язно надані матеріали з детальної геолого-економічної оцінки експлуатаційних вод Херсонського родовища. Основні результати, які були отримані авторами статті за допомогою математико-статистичної обробки, підтверджують висновки, що містяться у звіті (Лизогуб, 2021).

Список використаних джерел

- Василиук, Л., & Непша, О. (2018). Геоecологiчний монiторинг пiдземних вод Херсонської облaстi. *Матерiали XI Мiжнародної науково-практичної iнтернет-конференції "Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки в країнах Європи та Азії"* (с. 27–29).
- Кошарна, С. К. (2023). *Оцiнювання екологiчних ризикiв*. Iнтернет-ресурс Кiївського національного унiверситету iменi Тараса Шевченка: www.geol.univ.kiev.ua
- Лизогуб, В. О. (2021). Детальна геолого-економiчна оцiнка експлуатацiйних запасiв питних пiдземних вод дiлянок "Кiндiйська-I", "Кiндiйська-II", "Верхньо-Антонiвська", "Херсонська-I-II" Херсонського родовища по свердловинах водозабору МКП "ВУВКГ м. Херсона" (з пiдрахунком запасiв станом на 01.01.2021 р.). *Звiт про розвiдку родовища пiдземних вод*. ВП Пiвденно-українська ГГЕ ДП "УГК".
- Малеев, В. О., & Безпальченко, В. М. (2020). Водопостачання та водовiдведення Херсонської облaстi: стан, проблеми, першочерговi заходи. *Екологiчні науки*, 2(29), 66–71. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.10>
- Охрименко, О. В., Біла, Т. А., & Ляшенко, Є. В. (2019). Дослiдження параметрiв якостi водопровiдної води у мiстi Херсон хiмiчними методами. *Воднi бiоресурси та аквакультура*, 2, 134–143. <https://doi.org/10.32851/wba.2019.2.10>
- Рой, І. О. (2017). *Пiдвищення екологiчної безпеки питного водопостачання шляхом iнтенсифiкації процесу окислення органiчних речовин* [Дис. канд. техн. наук, Сумський державний унiверситет]. Iнституцiйний репозитарій Сумського державного унiверситету. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/49091>
- Щербак, О. В. (2014). Метаморфiзація питних пiдземних вод на територiї Херсонської облaстi. *Вiсник Харкiвського національного унiверситету iменi В. Н. Каразiна. Серiя "Геологiя. Географiя. Екологiя"*, 1128, 96–100.
- Щербак, О. В. (2015). Техногенно спричиненi змiни еколого-гiдрогеологiчних умов верхньомiоценового водоносного комплексу на територiї Херсонської облaстi [Дис. канд. геол. наук, Державна установа "Iнститут геохiмiї навколишнього середовища НАН України"]. Iнституцiйний репозитарій Державної установи "Iнститут геохiмiї навколишнього середовища НАН України". <https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/scherbak-dis-5.pdf>

Bernard, L. C. (2003). Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 8(2), 50–53.

References

- Bernard, L. C. (2003). Risks in Perspective. *Journal of American Physicians and Surgeons*, 8(2), 50–53.
- Kosharna, S. K. (2023). *Assessment of environmental risks*. Internet resource of Taras Shevchenko National University of Kyiv [in Ukrainian]. www.geol.univ.kiev.ua
- Lyzohub, V. O. (2021). Detailed geological and economic assessment of the operational reserves of drinking groundwater of the "Kindiyska-I", "Kindiyska-II", "Verkhnyo-Antonivska", "Khersonska-I-II" sections of the Kherson deposit according to the water intake wells of the MKP "VUVKG of Kherson" (calculation of reserves as of 01.01.2020). *Research report*. VP South-Ukrainian GGE of State Enterprise "UGK" [in Ukrainian].
- Malieiev, V. O., & Bezpalchenko, V. M. (2020). Water supply and drainage of the Kherson region: state, problems, priority measures. *Environmental sciences*, 2(29), 66–71 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.2-29.2.10>
- Okhrimenko, O. V., Bila, T. A., & Liashenko, Ye. V. (2019). Study of parameters of tap water quality in the city of Kherson by chemical methods. *Aquatic bioresources and aquaculture*, 2, 134–143 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32851/wba.2019.2.10>
- Roi, I. O. (2017). *Increasing the ecological safety of drinking water supply by intensifying the process of oxidation of organic substances* [PhD (Engin.) dissertation, Sumy State University]. Institutional repository of Sumy State University [in Ukrainian]. <http://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/49091>
- Scherbak, O. V. (2014). Metamorphosis of drinking groundwater in the territory of the Kherson region. *Visnyk of V.N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology"*, 1128, 96–100.
- Scherbak, O. V. (2015). Technogenically induced changes in the ecological and hydrogeological conditions of the Upper Miocene aquifer complex in the territory of the Kherson region [PhD (Geol.) dissertation, State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine"]. Institutional repository of State Institution "Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine" [in Ukrainian]. <https://www.igns.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/scherbak-dis-5.pdf>
- Vasyliuk, L., & Nepsha, O. (2018). Geoecological monitoring of groundwater in the Kherson region. *Materials of the XIth international scientific and practical internet conference "Problems and prospects of the development of modern science in the countries of Europe and Asia"* (p. 27–29) [in Ukrainian].
- Отримано редакцією журналу / Received: 23.03.24
Прорецензовано / Revised: 13.05.24
Схвалено до друку / Accepted: 30.08.24

Tetiana KOSHLIAKOVA, PhD (Geol.), Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0001-8551-3531

e-mail: tatianakoshliakova@gmail.com

M. P. Semenenko Institute of Geochemistry, Mineralogy and Ore Formation of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Olecsii KOSHLIAKOV, DSc (Geol.), Prof.

ORCID ID: 0000-0003-3090-4855

e-mail: kosh_57@ukr.net

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF DRINKING GROUNDWATER OF THE KHERSON DEPOSIT ACCORDING TO LONG-TERM OBSERVATIONS IN PRE-WAR TIMES

Background. After the destruction of the Kakhovskaya HPP and the spillway dam, and devastation of the Kakhovskaya Reservoir, the issue of water supply to the south of Ukraine became very acute. This problem is the most painful for the Kherson region. In this regard, there was a need to conduct monitoring studies on the quality of groundwater, which serves as a source of water supply for the population of Kherson. The analysis of changes in the main indicators of the chemical composition of groundwater over time makes it possible to assess potential risks for the health of consumers and to obtain predictive assessments of the state of the studied hydrogeological system.

Methods. When performing the work, mathematical-statistical, graph-analytical research methods were applied, comparative analysis was performed, and constructions were carried out using the specialized software tool GW_Chart.

Results. A high correlation was found between the amount of water withdrawal and permanganate oxidizability and fluorine content. It was established that during the studied period of time (from 2009 to 2021) there were changes in the general chemical composition of groundwater – in the cationic composition there was a transition from a calcium-magnesium to a sodium-potassium, in the anionic composition – from chloride-hydrocarbonate to bicarbonate-chloride. A non-carcinogenic risk assessment was performed using the non-threshold method for Mn and F. It was found that the danger level for F is extremely high, and for Mn – catastrophic.

Conclusions. The authors made the conclusion that groundwaters in the Upper Sarmatian sediments, which are exploited by the majority of examined wells on the territory of Kherson, have a complex direction of changes in chemical composition, depending on the conditions of their formation, which are determined by a complex of natural and man-made factors. The key role is played by: filtration properties of confining bed layers in the roof of the aquifer; consequences of the discharge of domestic sewage to Meotis-Pont deposits; lack of centralized sewerage within the private sector; recharge with surface waters of the Dnipro River; design features of the wells; operating loads on the aquifer. In general, it can be stated that the qualitative composition of groundwater has undergone significant changes. All these factors give the territory of the deposit a clearly defined lateral and in some cases, vertical hydrochemical zonation of groundwater.

Keywords: groundwater, hydrogeochemistry, Kherson deposit, monitoring studies, risk assessment.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.