

ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ ҐРУНТОВИХ ВОД НА ПІДТОПЛЕНИХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХАРКОВА

Яковлев В.В.¹, Дмитренко Т.В.¹, Соколов Ю.П., Рудий М.Г.²

¹Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Черноглазівська, 17, 61002, м. Харків

²Харківська комплексна геологічна партія
вул. Москалівська, 93, 61010, м. Харків

yakovlev030157@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua, urijsokolov779@gmail.com, hkgp97@ua

На підставі даних натурних досліджень, фондових матеріалів і літературних джерел розглянуто техногенні зміни ґрунтових вод у великому місті на прикладі м. Харкова. Проаналізовано основні джерела забруднення й шляхи потрапляння речовин-забрудників у ґрунтові води. Визначено, що у межах міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне. Живлення ґрунтових вод відбувається здебільшого внаслідок інфільтрації атмосферних опадів і фільтраційних втрат із водних комунікацій. Результати сучасних досліджень свідчать про значне забруднення ґрунтових вод сполуками азоту, фенолами, нафтопродуктами, важкими металами тощо, особливо в промислових зонах, у районах із близьким стоянням ґрунтових вод. Основні джерела забруднення важкими металами підземних вод перших від поверхні водоносних горизонтів – викиди промислових підприємств, автомобільного транспорту, технологічні втрати, витоки каналізаційних і стічних вод, фільтраційні втрати з відстійників. Техногенне забруднення простежується не тільки в ґрунтовому горизонті, а й у міжпластовому горизонті, що залягає нижче, приуроченому до зони відкритої тріщинуватості мергельно-крейдяних відкладів. Виявлено, що у кожному конкретному випадку мають місце суттєво великі фонові вмісти окремих мікрокомпонентів, що свідчить про значне забруднення ґрунтових вод алювіального горизонту техногенними речовинами. Надано рекомендації щодо зменшення негативного процесу підтоплення та забруднення ґрунтових вод на забудованих територіях. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад для вирішення питань, пов'язаних з організацією водопостачання в населених пунктах України та розробкою природоохоронних рішень. *Ключові слова:* ґрунтові води, додаткове живлення, рівень ґрунтових вод, підтоплення, техногенне забруднення, якість води, урбанізовані території.

Industry-induced shifts in the chemistry of ground waters in flooded urbanized areas: a case study of Kharkiv. Yakovlev V., Dmytrenko T., Sokolov Yu., Rudyi M.

According to the data from field surveys, geological reports and literature sources, industry-induced shifts in the chemistry of ground waters in a large city are considered using Kharkiv as an example. The main sources of pollution and pathways of pollutants entering groundwater were analysed. It is determined that within the city limits, groundwater quality is formed to a greater extent by technogenic factors than natural ones. Groundwater is mainly fed by the infiltration of atmospheric precipitation and filtration losses from underground water-carrying networks. The results of modern surveys indicate significant groundwater pollution with nitrogen compounds, phenols, oil products, trace metals, etc., especially in industrial sites and areas with high groundwater levels. The main sources of trace metal pollution of groundwater in the subsurface aquifers are discharges and emissions from industrial enterprises, motor vehicles, process losses, leaks of sewage and waste waters, and filtration losses from settling tanks. Technogenic pollution is traced not only in the subsurface horizon but also in those lying below, in the interlayer horizon, confined to the zone of open fracturing of marl-chalk deposits. It was revealed that in each specific case, there were significantly higher background contents of individual microcomponents, which indicates significant pollution with technogenic substances of the groundwater of the alluvial horizon. Recommendations are given to reduce the negative processes causing raised water tables and groundwater pollution in developed areas. Obtained survey results can be used by executive authorities and local governments (amalgamated communities) to address issues related to the organisation of household water supply in Ukraine and the development of environmental solutions. *Key words:* groundwater, additional recharge, groundwater level, raised groundwater table, technogenic pollution, water quality, urbanized areas.

Постановка проблеми. Підтоплення в Україні є одним із найруйнівніших інженерно-геологічних явищ, оскільки призводить до масштабної деградації основних фондів – житлових і виробничих будівель, доріг, комунікацій, металевих і бетонних конструкцій. Документально наявність істотних ділянок підтоплення встановлено в 510 містах, селищах і селах України, які за ступенем ураженості цим явищем ранжуються відповідно до чисельності населення. Логічно, що найбільш ураженими є центри великих міст. Також ступінь підтопленості міст меншою

мірою корелює з геологічними та геоморфологічними умовами, і більшою – з показником територіальної концентрації водоспоживання [1]. Водночас порушення природного балансу ґрунтових вод призводить до підйому їхнього рівня, скорочення потужності зони аерації та значного зменшення ступеня захищеності, що на підтоплених ділянках за інших рівних умов призводить до найбільшого забруднення ґрунтових вод. За даними [2] у підземних водах, які в межах населених пунктів використовуються для тих чи інших цілей, найчастіше зустрічаються такі

види забруднення: нафтопродукти, нітрати, хлориди, феноли, пестициди, амоній, марганець, хром та інші важкі метали. Крім того, збільшується відносно фонових значень загальний солевміст, жорсткість, вміст сульфатів, природного заліза і фтору.

Актуальність дослідження. У зв'язку з вищесказаним вивчення еволюції ґрунтових вод в умовах техногенезу є актуальним, і насамперед тенденції змін у підземній гідросфері мають спостерігатися у великих містах.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони та раціонального використання водних ресурсів України, зокрема, Водному Кодексу України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) [3], Правилам охорони підземних вод (Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11 травня 2023 р. № 325) [4], Концепції Державної програми запобігання і боротьби з підтопленням земель (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15 жовтня 2003 р. № 606-р) [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У статті виконано огляд питань, пов'язаних з техногенною зміною і забрудненням ґрунтових вод у великому місті на прикладі м. Харкова. Проаналізовано результати геолого-екологічних досліджень промислово-міської агломерації міста [6], вивчення джерельного стоку Харкова [7], гідрогеологічні роботи на комунальному підприємстві «Харківводоканал», на низці підприємств, які перебувають на підтоплених територіях: АТ «Світло Шахтаря», ТОВ «Балекс» (дріжджовий завод), ТОВ «Завод залізобетонних конструкцій № 3», ТОВ «Пивзавод «Нова Баварія», Регіональна філія «Південна залізниця» АТ «Укрзалізниця», АТ «Ефект», ПАТ «Харківський тракторний завод», ПрАТ «Харківський комбикормовий завод», ПрАТ «Кондитерська фабрика «Харків'янка»», джерело Шатилівське. Використано дані АТ «УкркомунНДПроект», дані дисертації автора [1].

Матеріали дослідження. Залучено дані про ґрунтові води, отримані на низці об'єктів і підприємств Харкова під час робіт, участь у яких брали автори статті.

Викладення основного матеріалу. Підтоплені території м. Харкова розташовуються здебільшого в межах заплав і перших надзаплавних терас річок Уди, Лопань, Харків, Немишля, де розвинений алювіальний водоносний горизонт, складений дрібнозернистими пісками, супісками з прошарками мулуватих суглинків і глин. Загальна потужність алювію річок становить від 5–8 до 10–15 м. Горизонт містить ґрунтові води, рівень яких розташовується, в основному, на глибині від 1,8 до 4 м. Коливання рівнів у різні сезони року сягає 1–1,5 м, і тому значна частина міста (понад 8,5 тис. га або близько третини

території Харкова [8]), є підтопленою або потенційно підтопленою.

Підстилаючим водотривом слугують еоценові глини та мергелі. Субаеральні відклади, що вкривають алювій, мають незначну потужність (до 2–3 м) і представлені супіском, суглинком і насипними ґрунтами (суглинковим і супіщаним перемішаним матеріалом із включенням будівельного та побутового сміття) потужністю, в основному, до 1,5–2,5 м.

У заплавах річок водоносний горизонт сучасних алювіальних відкладів подекуди залягає безпосередньо на водоносних породах більш давніх утворень (водотривкі відклади розмиті). Через такі «вікна» здійснюється активний гідравлічний і фільтраційний взаємозв'язок із нижче розміщеними водоносними горизонтами бучацьких і крейдових відкладів.

Живлення ґрунтових вод відбувається здебільшого внаслідок інфільтрації атмосферних опадів і фільтраційних втрат із водних комунікацій. Основні статті розвантаження – перетікання в нижче розміщені водоносні горизонти, в тому числі, крізь водотрив, і транспірація [8].

За даними [6] в умовах, близьких до природних, води четвертинних відкладів були прісні з мінералізацією до 1,0 г/дм³, мали переважно гідрокарбонатний і сульфатно-гідрокарбонатний склад. Результати сучасних досліджень показують, що техногенез незначно підвищив мінералізацію ґрунтових вод. Так, поза містом найбільш характерними значеннями мінералізації є 0,4–0,8 г/дм³, а в межах міста – 0,6–1,2 г/дм³. Водночас у місті вже практично не зустрічаються ґрунтові води гідрокарбонатного складу, а характерною є строкатість вмісту макрокомпонентів. Техногенний метаморфізм відбувається в послідовній зміні складу вод від сульфатно-гідрокарбонатного до гідрокарбонатно-сульфатного і потім до змішаного складу за участю хлорид-іона. На ділянках найбільшого техногенного впливу зустрічаються найбільш забруднені води хлоридно-сульфатного складу. Вміст сульфатів сягає 500–1000 мг/дм³, а хлоридів – 250–400 мг/дм³, що у декілька разів перевищує природні вмісти. Водневий показник для ґрунтових вод міста загалом не відрізняється від вод із природним фоном і становить 7,0–8,3. Однак, на ділянках деяких промислових підприємств (АТ «Завод «Електроважмаш»», ПАТ «ХАРП») ґрунтові води можуть бути значно підкислені, до рН 5,5–5,0. Типовим показником загального забруднення для ґрунтових вод є присутність нітрат-іона в кількості від 5–10 мг/дм³ і вище. У більшості випадків гранично допустима концентрація NO₃⁻ (50 мг/дм³) [9] перевищена у 2–4 рази. Часто це супроводжується підвищеним вмістом NH₄⁺ і NO₂⁻, що вказує на побутові джерела забруднення сполуками азоту. У ґрунтовому покриві та ґрунтах зони аерації, водах першого від поверхні водоносного горизонту азотовмісні сполуки зазнають змін у послідовності NH₄⁺ → NO₂⁻ → NO₃⁻. Кінцевий про-

дукт – нітрати – вельми розчинні й добре мігрують, тому, в загальному випадку, помітні концентрації їх у підземних водах свідчить про відносно нещодавнє забруднення, тобто практично вказує на постійне внесення азотистих сполук у селітебних зонах [6].

Практично найпотужніше і найповсюдніше джерело азотистих сполук – негерметичні каналізаційні системи. Також, значними джерелами забруднення є не каналізовані подвір'я на околицях міста, кладовища та несанкціоновані звалища побутового сміття. Підтвердженням повсюдного забруднення ґрунтових вод нітратами є неприродний вміст цього компонента (8–20 і більше мг/дм³) у джерельних водах Харкова [7].

Кількісно живлення ґрунтових вод забезпечується переважно внаслідок витоків із водопровідних мереж. За даними АТ «УкркомунНДПроект» тільки нормативні втрати з мереж водопроводу становлять 100 тис. м³/добу, через зношеність витоків з мереж перевищують нормативні у 2–3 рази, що пов'язано з частими аваріями [10]. Починаючи з початку 90-х років, комунальне підприємство «Харківкомунпромвод», у зв'язку з недостатнім фінансуванням, не здійснювало систематичної заміни зношених мереж загальносправної каналізації, а працювало, в основному, в аварійно-відновлювальному режимі, реагуючи на конкретні пориви напірних водопроводів.

Згідно з літературними даними [11], загалом інтенсивність додаткового інфільтраційного живлення на підтоплених територіях Харкова становить $(0,5...1) \cdot 10^{-3}$ і більше м/добу, що перевищує природне інфільтраційне живлення ґрунтових вод за рахунок атмосферних опадів $(0,6...2,2) \cdot 10^{-4}$ м/добу) у 2,3–16,7 рази. Таким чином, у межах міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне.

Під час геолого-екологічних досліджень на площі харківської промислово-житлової агломерації [6] було виявлено, що показник окиснюваності для ґрунтових вод міста (випробуваних у колодязях) коливається в межах 2,4–15,4 мгО/дм³, тоді як за містом, відповідно, від 0,1 до 6,3 г/дм³, що вказує на підвищений вміст органічних речовин у межах міста.

За сумарним показником концентрації низки токсичних елементів 1 і 2 класів небезпеки (Al, As, B, Ba, Cd, Co, F, Hg, Li, Mo, Pb, Se, Sr), ґрунтові води є найбільш забрудненим водним середовищем гідросфери міста [1]. На відміну від приміських територій із сумарним показником до 2 і 4 одиниць ГДК, встановлених для вод господарсько-питного призначення, території міських житлових і промислових секторів характеризуються показником від 4 до 8 одиниць ГДК. В окремих місцях – у районі ПАТ «Харківський тракторний завод», житлового району Нова Баварія, окружної дороги на північному сході міста показник забрудненості сягає 15–25 одиниць ГДК. Переважаючими мікроелементами-забрудню-

вачами серед елементів 1 і 2 класів небезпеки є Br і Al. Також, з низки забруднювачів виділяються Cd, Li, і, меншою мірою, Ba. З перерахованих елементів найвищий фон у кадмію, у нього ж найбільш «широка географія» – цей елемент у значних концентраціях зустрічається повсюдно в межах міста. Це, очевидно, пов'язано з широким застосуванням кадмування для покриття металевих виробів, використанням кадмієвих фарб і мідних виробів. Джерелом кадмію також можуть бути аерозолі, що утворюються при спалюванні вугілля, побутового сміття.

Високу концентрацію берилію виявлено в ґрунтових водах на околиці міста в сосновому лісі біля Великої Данилівки, а також на невеликій площі біля ТОВ «Харківський коксохімічний завод», залізничної станції «Основа» і поруч у заплаві р. Уди. Концентрації Be у цих точках становлять від 0,0004 до 0,0008 мг/дм³, що у 2–4 рази перевершує ГДК цього елемента для вод господарсько-побутового призначення.

З елементів 3 і 4 групи токсичності заслуговують на увагу залізо і марганець, середній вміст яких у 1,5 рази вищий за ГДК, при цьому граничні концентрації перевищено у 45 % і 35 % проб відповідно. Вміст інших елементів 3–4 груп, таких як Cu, Cr, Ni та Zn, перебуває в більшості випадків у межах фонових значень і не перевищує ГДК [6].

Основні джерела забруднення важкими металами підземних вод перших від поверхні водоносних горизонтів – викиди промислових підприємств, автомобільного транспорту, технологічні втрати, витоків каналізаційних і стічних вод, фільтраційні втрати з відстійників.

У результаті досліджень встановлено значне забруднення ґрунтових вод фенолами та нафтопродуктами, особливо в промислових зонах, у районах із близьким стоянням ґрунтових вод. Максимальні їхні концентрації характерні для зимового періоду, коли швидкість розпаду вуглеводнів помітно знижується порівняно з літнім періодом. Концентроване вуглеводневе забруднення ґрунтових вод і порід зони аерації має локальний характер. Такі ділянки приурочені до промислових підприємств, автозаправних станцій, нафтосховищ, місць скидання зливових вод тощо. Основні причини забруднення підземних вод нафтопродуктами – безконтрольні їх втрати на території підприємств.

Дослідженнями останніх років встановлено наявність різноманітних лікарських препаратів у поверхневих і ґрунтових водах району Харкова та північних передмість, серед яких мають місце і препарати психотропного ряду [12]. Їхній вміст фіксується на рівні слідів, проте постійне використання таких вод у питних цілях потенційно може загрожувати здоров'ю людини через можливий акумулятивний ефект.

Техногенне забруднення простежують не тільки в ґрунтовому горизонті, а й у між пластовому горизонті, що залягає нижче, приуроченому до зони

відкритої тріщинуватості мергельно-крейдяних відкладів, розвиненому в долинах річок до глибини 70–80 м. З 1904 р. до середини 80-х років минулого століття цей водоносний горизонт із різною інтенсивністю використовували для комунального (зокрема, питного) водопостачання. На низці міських водозаборів було розвідано і затверджено запаси підземних вод за промисловими категоріями. Проблемою їхнього використання в 60-ті та 80-ті роки була підвищена жорсткість води та підвищений вміст заліза, що є наслідком органічного забруднення горизонту ґрунтових вод, який їх живить [6]. Це стало однією з причин припинення водовідбору на комунальних водозаборах. Згодом води мергельно-крейдяного водоносного горизонту використовували лише відомства, і, за сучасними даними, ця вода має значні відхилення від питних кондицій за вмістом заліза, сульфатів, амонію, величиною сухого залишку та загальною жорсткістю (водозабори ПрАТ «Кондитерська фабрика «Харків'янка», АТ «Світло Шахтаря», ДП «Харківський завод шампанських вин» тощо). Крім цього, у кожному конкретному випадку мають місце суттєво великі фонові вмісти тих чи інших мікрокомпонентів – фтору, марганцю, свинцю, хрому, алюмінію тощо. З урахуванням того, що мергельно-крейдяний водоносний горизонт сам по собі не містить значних запасів води, вище наведене свідчить про значне забруднення ґрунтових вод алювіального горизонту техногенними речовинами.

У зв'язку зі зниженням водовідбору із мергельно-кремезового водоносного горизонту п'єзометричні рівні в ньому із середини 80-х років мають тенденцію до підвищення. Це, своєю чергою, призвело до підпору води у вище залягаючому алювіальному горизонті й у 90-х роках минулого століття і на початку нового століття значно розширило площу підтоплених земель.

Найбільш напружене становище з підтопленням склалося у районах міста: Журавлівка, Сортировка, Основа, Новоселівка, Мала Данилівка [10].

В умовах порушення сформованого водного балансу підземної гідросфери Харкова доцільні прямі впливи на складові цього балансу: збільшення використання забруднених прісних вод першого міжпластового водоносного горизонту з метою технічного водопостачання промислових підприємств міста, зменшення подачі вод питної якості до Харкова із зовнішніх джерел за рахунок: поділу систем водопостачання підприємств на технічну та господарсько-питну, використання джерельних вод для технічних цілей [1], установки квартирних приладів обліку витрати води, заміни водопровідних мереж із встановленням більш містких внутрішньоквартальних водопроводів із підкачуванням насосами до будинків, що дозволить зменшити тиск у мережі та скоротить витік при поривах труб.

Головні висновки.

1. У межах підтоплених ділянок міста ґрунтові води мають більшою мірою техногенне формування, ніж природне. Основним джерелом додаткового живлення є витік з водонесучих комунікацій.

2. Ґрунтові води м. Харкова забруднені важкими металами, нафтопродуктами, азотистими сполуками, містять залишки лікарських препаратів, тому колодязні, джерельні води та води першого міжпластового водоносного горизонту, що залягають на глибині до 80 м, не можуть використовуватися для господарсько-побутових та питних цілей без очищення.

Перспективи використання результатів досліджень. Результати досліджень можуть бути використані органами виконавчої влади та об'єднаних територіальних громад для вирішенні питань, пов'язаних з організацією водопостачання в населених пунктах України та розробкою природоохоронних рішень.

Література

1. Яковлев В.В. Перспективні джерела природних вод для питного водопостачання України, їх охорона і раціональне використання: дис. ... д-ра геол. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т ім. В.Н. Каразіна, 2017. 351 с.
2. Стан підземних вод України: щорічник / під ред. С.І. Примушко, Т.Д. Білошпаської, В.Ф. Величко. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. 120 с.
3. Водний Кодекс України : Закон України від 06.06.1995 р. № 213/95-ВР. *Відомості Верховної Ради України*. 1995. № 24. Ст. 189. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80#Text>
4. Про затвердження Правил охорони підземних вод : Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 11.05.2023 р. № 325. *Офіційний вісник України*. 2023. № 65. Ст. 3736. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1093-23#Text>
5. Про схвалення Концепції Державної програми запобігання і боротьби з підтопленням земель : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 15.10.2003 р. № 606-р. *Офіційний вісник України*. 2003. № 42. Ст. 2228. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/606-2003-%D1%80#Text>
6. Яковлев В.В., Соколов Ю.П., Мірка Г.Ю. та ін. Геолого-екологічні дослідження промислово-міської агломерації м. Харкова / Листи М-37-61-В, Г та М-37-73-А, Б. м. Харків, 1994. 243 с.
7. Дмитренко Т.В., Костенко Н.В., Яковлев В.В. Екологічні аспекти використання джерельних вод урбанізованих територій для питного водопостачання (на прикладі м. Харкова). *Науковий вісник будівництва*. Харків. Вип. 21. 2003. С. 209–224.
8. Свіренко Л.П., Спірін О.І., Яковлев В.В. Підземні води урбанізованих територій та пов'язані з ними проблеми. *Комунальне господарство міст*. 2001. Вип. 36. С. 186–189.
9. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. *Офіційний вісник України*. 2010. № 51. Ст. 1717. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text>

10. Серікова О.М. Прогнозування і управління рівнем ґрунтових вод для підвищення екологічної безпеки забудованих територій України: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.01 / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова, 2019. 150 с.
11. Serikova E. The programme of measures to prevent flooding on the built-up areas on example of Kharkov city / Serikova, E., Strelnikova, E. and Yakovlev, V. International Journal of Development Research, 2015. Vol. 5, Issue, 12. pp. 6236-6240. (Google Scholar, Index Copernicus International). URL: https://www.researchgate.net/publication/299270241_The_programme_of_measures_to_prevent_flooding_on_the_built-up_areas_on_example_of_kharkiv_city
12. Виставна Ю.Ю., Руско Ю.О. Фармацевтичні речовини у природних водах: моніторинг та екологічний ризик. *Комунальне господарство міст, серія «Технічні науки та архітектура»*. 2011. Вип. 97. С. 134–140. URL: <https://khg.kname.edu.ua/index.php/khg/article/view/901/895>