

УДК 504.064:628.1.033

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2025.110.0.94

ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ЯКОСТІ ПІДЗЕМНИХ ВОД І РИЗИКИ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я В ПРОЦЕСІ ЇХ СПОЖИВАННЯ

Внукова Н. В.,¹ Ричак Н. Л.,¹ Христенко О. К.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Анотація. Актуальність теми зумовлена функцією підземних вод у системах водопостачання через дефіцит чистих поверхневих джерел. Це питання є особливо важливим у контексті поширення захворювань, викликаних вживанням неякісної води. Метою статті є аналіз ризиків для здоров'я населення, які виникають у процесі споживання питних підземних вод різної якості. Методи дослідження складаються з комплексного аналізу складу підземних вод, ризик-орієнтованого моделювання, а також використання систем для аналізу рівня вразливості різних територій. Під час проведення дослідження визначено хімічний склад підземних вод, встановлені основні джерела небезпеки та ступінь забруднення, виявлено тенденцію до перевищення хлоридів у підземних водах, показників лужності та жорсткості, що знаходяться в умовах урбаністичного навантаження Харкова. Виявлені ризики для здоров'я населення свідчать про підвищену небезпеку, зокрема для дітей та осіб із хронічними захворюваннями.

Ключові слова: підземні води, нецентралізоване питне водопостачання, здоров'я населення, аналіз ризику.

Вступ

Головні засади державної політики у сфері питної води сформульовано в Законі України «Про питну воду та питне водопостачання» (2002 р.) Серед принципів державної політики у сфері питної води (ст.6) зазначено (ст.6) «забезпечення вільного доступу до інформації про якість питної води, стан джерел та систем водоспоживання» [1].

У Доповіді ООН про світовий розвиток водних ресурсів (2023) у розділі Глобальний аналіз та оцінка санітарії та питної води (GLASS) (стратегія 2030) зазначено необхідність досягнення мети ба – підтримувати та посилювати участь місцевих громад у покращенні процесу управління водопостачанням та санітарією [2].

Результати досліджень Preisner M. (2022) вказують на те, що залежно від регіону світу використання води є надзвичайно різноманітним, що зумовлене сільським господарством, виробництвом, енергетичним комплексом, гірничодобувною промисловістю, послугами та громадським постачанням. У розвинених країнах домогосподарства використовують менше ніж 5 % води для пиття або приготування їжі, тоді як у деяких країнах, що розвиваються, використання води для споживчих потреб сягає 100 % [3]. За дослідженнями (ООН, 2015), до 2025 року приблизно 2,8 мільярда людей страждатимуть від

дефіциту води через високий водний стрес та відсутність сталого водокористування, а до 2050 року половина населення світу проживатиме в регіонах із дефіцитом води [2, 3].

Підземні води є більш надійними та менш забрудненими за поверхневі, але вони зазнають значного впливу як природних чинників (присутність заліза, нітратів, сірки, фтору тощо), так і антропогенного забруднення (хімічні речовини, пестициди, промислові відходи). За дослідженнями В. М. Шестопалова (2024), частка підземних вод у водопостачанні населення загалом в Україні становить лише орієнтовно 20 %, і в останні десятиліття спостерігається стійка тенденція до зменшення видобування підземних вод. У країнах Європи частка підземних вод у водопостачанні є значно вищою і складає майже 65 %. Приблизно така сама й більша частка підземних вод у країнах, близьких до України територіально та історично [4].

2019 р. в Україні забрано 1157 млн.м³ прісної води із підземних джерел [5]. За час повномасштабного вторгнення через аварії у системах водопостачання, їх часткове чи повне знищення, а також міграції населення, воєнні дії кількість споживачів і користувачів підземних вод для питного водокористування суттєво знизилась. За оцінкою ЮНІСЕФ, 2022 р. понад 4,6 млн. людей мали обмежений доступ до води, понад 6 мільйонів

людей в Україні щодня стикалися з проблемами доступу до питної води. Кризовою залишається ситуація з водопостачанням у містах Маріуполь, Рубіжне, Лиман, Сєвєродонецьк, Лисичанськ, Волноваха, Ізюм, значні проблеми існують у Миколаєві та Херсоні [6].

За даними Національних доповідей про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення у 2021–2023 р. спостерігалася тенденція до збільшення кількості населених пунктів, які втратили централізовані послуги водопостачання та водовідведення. Зокрема кількість міст без централізованого водопостачання збільшилася з 4 міст у 2021 р. до 10 в 2023 р., селищ з 46 до 63, а сільських населених пунктів з 16 989 до 18 048, відповідно до [7, 8].

За даними Національної доповіді (2023 р.), станом на 01 травня 2024 р. унаслідок ведення бойових дій у Харківській області зазнали пошкоджень 202 об'єкти водопровідно-каналізаційного господарства та 364,57 км мереж. На грудень 2024 р. відновлено 47 об'єктів та 222,3 км мереж. Серед пошкоджених об'єктів 16 очисних споруд систем централізованого водовідведення, що складає 25% від їх загальної кількості та одне з найбільших джерел водопостачання м. Харкова, а також частини області – Печенізький гідровузол, який знаходиться в аварійному стані [8]. Такий несприятливий стан з централізованим водопостачанням в області й обласному центрі вказує на тенденцію до збільшення обсягів використання підземних вод та забезпечення їхньої якості.

Якість підземних вод для питного водоспоживання, їхній аналіз, вплив на стан здоров'я були і залишаються важливими. За оцінкою Світового банку, на кінець 2024 р. загальна сума збитків, завданих воєнними діями сектору водопостачання та водовідведення в Україні, оцінюється в 4,6 мільярда доларів США. Найбільше постраждали Харківська, Луганська, Запорізька, Чернігівська, Херсонська та Донецька області [9]. Тому питання дослідження якості підземних вод у вододефіцитному регіоні з наданням оцінки ризику та вразливості для здоров'я населення в процесі використання підземних вод різної якості залишається надзвичайно важливим і актуальним, зокрема в умовах війни. Проблема полягає в необхідності забезпечення населення питною водою, комплексного підходу до оцінки якості підземних вод, що забезпечують нецентралізоване питне водо-

постачання, бо навіть незначні перевищення концентрацій шкідливих речовин можуть призвести до хронічних отруєнь і серйозних проблем зі здоров'ям.

Об'єктом дослідження є підземні води, які використовуються для питного водопостачання, з особливим фокусом на екологічну безпеку та здоров'я населення.

Предмет дослідження – ризики для здоров'я через забруднення підземних вод і методи їх оцінення.

Методи дослідження складаються з таких процесів: гідрохімічний аналіз води, аналіз оцінки ризику для здоров'я в процесі використання підземних вод, а також методи екологічного моніторингу для оцінки якості води та визначення потенційної небезпеки для населення. Наукова новизна полягає у визначенні нових підходів до оцінки ризиків для здоров'я через тривале використання підземних вод для нецентралізованого питного водопостачання та в розробленні методів аналізу вразливості джерел до антропогенних забруднювачів.

Прикладне значення роботи полягає в можливості застосування її результатів для вдосконалення системи моніторингу підземних вод, оптимізації очищення води та формування регіональних стратегій безпечного використання підземних вод для питного водоспоживання.

Отже, дослідження є актуальним та таким, що спрямоване на вирішення однієї з найважливіших екологічних і соціальних проблем сучасності – забезпечення населення безпечною питною водою, що має вирішальне значення для підтримки здоров'я нації та покращення якості життя.

Аналіз публікацій

Експлуатаційні запаси підземних вод у Харківській області у 2023 р. становили 1 091.972 тис. м³/добу. Видобуток підземних вод 2023р. складав 13.443 тис. м³/добу [8]. Обсяг підземних вод на господарсько-питні потреби складав 10.379 тис. м³/добу, (у порівнянні з обсягом використання підземних вод 2022 р. знизився на 1.462 тис. м³/добу), обсяг води на виробничо-технічні потреби складав 2,417 тис. м³/добу, (обсяг збільшився на 0,238 тис. м³/добу у порівнянні з 2022 р.), обсяг підземних вод для промислового розливу без оброблення складав 0,081 тис. м³/добу (обсяг використання збільшився на 0,027 тис. м³/добу), обсяг підземних вод на зрошення складав 0,565 тис. м³/добу

(характерне збільшення обсягу вод на 0,027 тис. м³/добу) [4, 7, 8].

Водонесні горизонти на території Харківської області містяться в еоценових та альб-сеноманських пісках і крейдяних відкладах пізньокрейдного віку [4]. За дослідженнями вчених, що вивчали хімічний склад підземних вод Харківщини, природна мінералізація перебуває в межах 0,6–0,8 г/дм³ [10–13]. Вода з мінералізацією в межах показників фізіологічної повноцінності міститься в крейді, мергелях і пісках крейдного віку [4]. Були визначені перевищення нормативів показника сухого залишку, вмісту хлоридів, натрію, заліза та марганцю [4, 13].

Нецентралізоване питне водопостачання у місті Харків добре розвинуте. У місті великою популярністю користуються джерела питного водопостачання. Їхня приблизна кількість дорівнює 20. За результатами постійних досліджень якості підземних вод для питного водопостачання, рекомендують для вживання орієнтовно 10–12 джерел. З огляду на сучасні екологічні умови, вплив процесів урбанізації, воєнних дій, аварій, розлив нафтопродуктів (р. Немишля, 2023 р.) якість підземних вод постійно змінюється. Під час дослідження О. Прибалової та ін. (2017) щодо оцінки ризику для здоров'я населення в процесі використання підземних вод на території Харківської області без попередньої водо підготовки було визначено таке: до пріоритетних речовин, які мають індекс небезпеки для здоров'я людини більше 0,05, належать талій, ртуть, кадмій, стронцій, залізо марганець; споживання такої води викликає небезпеку ураження нирок, шлунково-кишкового тракту, центральної нервової системи, захворювання серцево-судинної системи [14].

Під час досліджень А. Лісняка та ін. (2024) джерельним водам (що використовуються для господарсько-питних потреб населенням у південно-східній частині міста) були присвоєно 2 клас якості вод: – прийнятна якість води – добра, згідно з ДСТУ 4808, оскільки вони мають підвищенні показники загальної жорсткості [13].

Дослідження А. Tsiaras та ін. (2022) підтверджують, що покращення якості питної води добре корелює з покращенням економічних показників на рівні домогосподарств і регіонів. В оглядах світових практик також зазначається, що країни, які інвестують у систему водоочищення та забезпечення чистої питної води, знижується рівень захворю-

ваності серед населення, зменшуються витрати на охорону здоров'я та покращується загальний добробут громадян. Це підтверджується даними досліджень, проведених у країнах Європи, де водоочисні споруди дозволили знизити ризики для здоров'я населення до мінімуму [15].

Важливу функцію у визначенні якості підземних вод й аналізі ризику для здоров'я населення здійснює ваговий параметр (F. Yi та ін. 2019). Для забруднювача з вищим ризиком для здоров'я призначається більша вагомість. Це дає можливість отримати більш точні результати для проведення подальших робіт щодо питань менеджменту довілля та покращення якості вод [16].

Результати досліджень якості води нецентралізованого питного водопостачання у 2022–2024 рр. (в Україні) демонструють, що найгірша ситуація (39,9 % нестандартних проб за хімічними показниками) була 2022 р. 2024 р. ситуація покращилась (32,9 % нестандартних проб за хімічними показниками), тобто дійшли до рівня 2015 р. [9]. У 2022–2024 рр. спостерігалось погіршення епідемічної безпеки питної води з джерел нецентралізованого водопостачання, як порівняти з 2015 та 2021 рр. Спостерігалась більша питома вага нестандартних проб за мікробіологічними показниками, як порівняти з 2015 роком [6,9].

Окремим важливим питанням є забруднення води патогенними мікроорганізмами. Результати дослідження S. Tongesayi та ін. (2017) вказують, що мікробіологічні забруднювачі можуть стати причиною спалахів гострих кишкових інфекцій, гепатиту А, холери та інших інфекційних хвороб, а забрудненість питної води бактеріями групи кишкової палички є одним з найбільш поширених чинників, що викликають хвороби у регіонах із недостатньою системою водоочищення [17].

Для оцінки загальної якості підземних вод були застосовані визначення індексу якості води (WQI), який поєднує зважування ризику для здоров'я людини. Результати дослідження (Wu та ін. (2020), Machona та ін. (2025)) вказують, що значна кількість проб підземних вод пов'язана з неприйнятними ризиками для здоров'я як для дорослих, так і для дітей, зокрема діти більше піддаються ризикам [18,19]. За оцінками, понад 300 000 дітей віком до п'яти років щорічно помирають через брак безпечної питної води (Lamb та ін. (2021)), що підкреслює нагальність

вирішення проблеми якості та доступності води в усьому світі [20].

Результати досліджень забруднення води солями свинцю [12] свідчать, що тривале вживання води з підвищеним їх вмістом може викликати неврологічні порушення, зокрема в дітей, та сприяти розвитку онкологічних захворювань.

Також не менш небезпечними є пестициди, які використовуються в сільському господарстві. Відповідно до досліджень, вони можуть викликати отруєння, ендокринні порушення та збільшувати ризик розвитку ракових захворювань [12, 13].

Несприятлива ситуація з якістю вод позначилася на стані здоров'я населення. Протягом 2022 р. у Харківській області (с. Скрипаї Чугуївського району) зареєстровано отруєння нітратами та захворювання на воднонітратну метгемоглобінемію (призводить до зниження здатності крові переносити кисень). 2024 р. зареєстровані випадки захворювання на воднонітратну метгемоглобінемію у м. Балаклія Ізюмського району та с. Хорли Харківського району [9]. Захворюваність на воднонітратну метгемоглобінемію не належить до інфекційних хвороб, тому її не внесено до їх переліку і не подають у звітних формах щодо Протоколу (з 2003 р. Україна є стороною Протоколу про воду та здоров'я [21]) [6, 9].

Інформацію подають до ДУ «Центр громадського здоров'я МОЗ України». Через зміну клімату та значні міграційні процеси в Україні збільшуються ризики захворювань, прояви яких у країні траплялися раніше (малярія), або нових інфекційних хвороб, які не були характерними для території України. [9].

Мета та постановка задачі

Мета роботи полягає в проведенні комплексного аналізу ризиків та вразливості для здоров'я населення під час використання підземних вод для питного водоспоживання, а також у розробленні рекомендацій для зменшення негативного впливу забруднювачів на стан здоров'я населення.

Для досягнення поставленої мети був проаналізований сучасний стан підземних вод, які використовуються для питного водопостачання, визначені основні джерела та види забруднювачів підземних вод; проведений гідрохімічний аналіз підземних вод для виявлення небезпечних речовин; змодельовані потенційні ризики для здоров'я насе-

лення, що можуть виникнути в процесі тривалого вживання неякісної води; запропоновані рекомендації для зниження ризиків для здоров'я.

Методика дослідження

Аналіз екологічного стану питних вод ґрунтується на комплексі заходів, спрямованих на моніторинг, контроль якості та дотримання нормативів для підземних вод, що використовуються для питного водопостачання. Основою для цієї методики є вимоги [22] і положення [23]. Були запропоновані такі етапи визначення екологічного стану підземних вод: моніторинг та відбір проб; гігієнічний аналіз якості вод; контроль зон санітарної охорони; аналіз результатів та вживання заходів; регулярний виробничий контроль та документування; тестування додаткових параметрів особливих умов.

Впровадження цієї методики відповідно до нормативних документів України забезпечує підтримку належної якості питної води та безпеку населення, а також дозволяє своєчасно виявляти й усувати джерела забруднення, зберігаючи екологічний баланс водних ресурсів.

Аналіз ризику є ключовим етапом у процесі забезпечення безпеки питної води, зокрема підземних вод. Ця методика передбачає комплексний аналіз, що дозволяє визначити, як забруднення підземних вод може вплинути на здоров'я населення, а також виявити вразливі групи людей, які можуть постраждати внаслідок використання таких вод. Процес аналізу складається з кількох етапів, кожен з яких має своє значення для формування загальної картини можливих загроз (рис. 1)

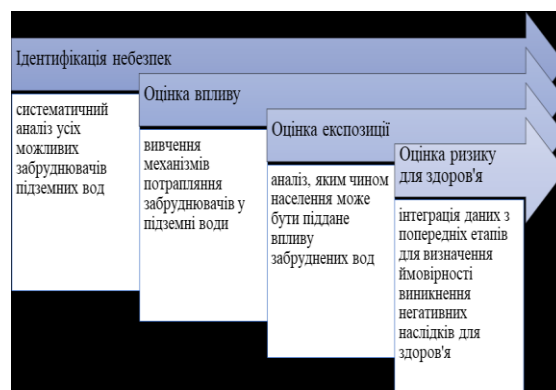


Рис.1. Етапи процесу аналізу ризику

Вразливість населення до ризиків, пов'язаних із забрудненням підземних вод, визначається такими ключовими чинниками: (рис. 2).

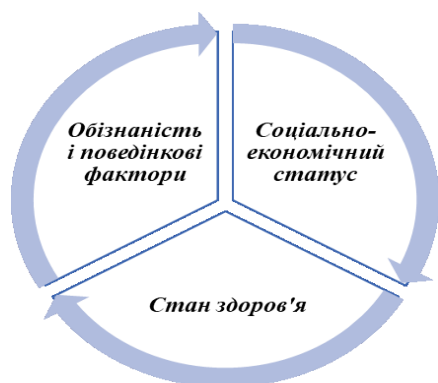


Рис. 2. Вагомі чинники вразливості населення

1 соціально-економічний статус: низький рівень доходу або бідність може обмежити доступ до чистих і безпечних джерел води, що робить такі верстви населення більш вразливими;

2 стан здоров'я: особи з хронічними захворюваннями або ослабленим імунітетом мають підвищений ризик негативного впливу від споживання забрудненої води;

3 обізнаність і поведінкові фактори: знання про ризики через використання підземних вод, а також поведінкові практики (наприклад фільтрація води перед споживанням) можуть істотно вплинути на рівень вразливості.

Крім того, варто визначити групи населення, які є найбільш вразливими до ризиків, що виникають через використання підземних вод: діти, вагітні жінки, люди з хронічними захворюваннями, особи похилого віку.

На етапі аналізу ризику для здоров'я потрібно використовувати статистичні дані та епідеміологічні дослідження для визначення зв'язку між споживанням забрудненої води та захворюваннями. Важливо також враховувати фактори, які можуть змінювати ризик, наприклад рівень обізнаності населення про небезпеку, медичне обслуговування та доступ до альтернативних джерел води.

Методика аналізу ризику та вразливості для здоров'я населення в процесі використання підземних вод є незамінним інструментом у забезпеченні безпеки водопостачання. Вона дозволяє виявити ключові небезпеки, оцінити потенційні наслідки для здоров'я та розробити відповідні рекомендації для зменшення ризиків.

Аналіз екологічного стану підземних вод

Підземні води є важливим ресурсом для забезпечення населення питною водою. Їхня якість може бути під загрозою через різноманітні фактори, зокрема забруднення від урбаністичного впливу та промислової діяльності.

Проведений аналіз екологічного стану підземних вод на основі проб, відібраних восени 2024 року у м. Харкові (табл. 1). Проба 1 – парк Юність (джерело), проба 2 – джерело біля р. Немишля. (табл. 1). Для порівняння були використані гранично-допустимі концентрації (ГДК) речовин відповідно до норм, ухвалених в Україні (табл. 2).

Таблиця 1 – Обґрунтування вибору джерел дослідження

Проби	Координати місць відбору проб води	Урбанізовані ландшафти	Екологічне обґрунтування
Проба води 1	49.977008N, 36.163063E	Місцевість малої долини, балок і ярів; зволожені та перезволожені дніща балок і ярів, складені елювіальними, елювіально-делювіальними відкладами на палеоген-неогенових алевритах з глейовими середньоопідзоленими ґрунтами під трав'янистою та чагарниковою рослинністю	Екологічно безпечна територія, полірекреаційна підсистема міста, рекреаційне навантаження території; під постійним екологічним моніторингом
Проба води 2	49.977937N 36.311379E	Знижена частина вирівняної заплави, що складена супіщаними та легкосуглинистими відкладеннями з алювіальними малорозвинутими ґрунтами під приватною житловою забудовою, дорогами, межує з вирівняною терасою (широкинсько-приазовською), складеною суглинками і пісками на піщаних алювіальних відкладеннях і породах палеогену, з чорноземами змитими під малоповерховою забудовою, дорогами, городами	Екологічна катастрофа – потрапляння нафтопродуктів через воєнні дії (весна 2023 р.) до річки Немишля; постійний значний вплив об'єктів транспортної інфраструктури (проспект Лева Ландау, трамвайна колія, місця для паркування автомобілів), полірекреаційна підсистема та транспортна підсистема міста недостатньо досліджені

Таблиця 2 – Вміст хімічних речовин і сполук у підземних водах

Назва речовини та одиниці вимірювання	Збірна проба 1	Збірна проба 2	Екологічні нормативи ¹	Висновок
pH	6,658	6,893	6,5-8,5	У межах допустимих екологічних норм
Аміак (мг/дм ³)	0,08	0,04	<0,5	У межах допустимих екологічних норм
Запах	0	0	0	У межах допустимих екологічних норм
Прозорість (см)	25	24	>20	У межах допустимих екологічних норм
Нітрити (мг/дм ³)	0,02	0,002	<0,1	У межах допустимих екологічних норм
Нітрати (мг/дм ³)	18	0	<45	У межах допустимих екологічних норм
Хлориди (мг/дм ³)	504	416	<350	Перевищення екологічних норм
Лужність (ммоль/дм ³)	8,2	7,5	4-8	Перевищення екологічних норм
Жорсткість (ммоль/дм ³)	11,6	9,0	7-10	Перша проба – перевищення екологічних норм
Залізо (мг/дм ³)	0,001	0,516	0,3	Друга проба – перевищення екологічних норм
Цинк (мг/дм ³)	0,006	0,918	1,0	Друга проба – близька до значень екологічних норм
Мідь (мг/дм ³)	0,001	0,00914	1,0	У межах допустимих екологічних норм
Марганець (мг/дм ³)	0	0,002	0,1	У межах допустимих екологічних норм
Кадмій (мг/дм ³)	0,001	0,0001	0,005	У межах допустимих екологічних норм
Хром (мг/дм ³)	0	0	0,05	У межах допустимих екологічних норм

Примітка:*1 – екологічні нормативи згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 [24]

Аналіз результатів демонструє, що більшість показників якості підземних вод відповідають установленим нормам України [24]. Проте варто визначити декілька критичних моментів:

1 нітрати: у першій пробі було виявлено 18 мг/дм³ нітратів у межах ГДК (45 мг/дм³), але це вказує на можливе забруднення через сільськогосподарську діяльність;

2 хлориди: вміст хлоридів у першій пробі (504 мг/дм³) перевищує ГДК (350 мг/дм³). Це свідчить про забруднення з побутових чи промислових джерел, що потребує подальшого вивчення;

3 лужність та жорсткість: у першій пробі виявлено підвищену лужність (8,2 ммоль/дм³) та жорсткість (11,6 ммоль/дм³), що перевищили допустимі норми;

4 залізо та цинк: у другій пробі виявлено підвищений вміст заліза (0,516 мг/дм³) і цинку (0,918 мг/дм³). Показники не перевищують екологічні нормативи, проте впливають на смакову якість води.

Результати аналізу якості підземних вод вказують на задовільний стан. Особливої уваги та додаткових досліджень вимагають підвищений вміст хлоридів та нітратів.

Аналіз ризику та вразливості для здоров'я населення під час вживання питних вод підземного походження різної якості

Розраховано ризик для здоров'я від споживання підземної води, зокрема води з джерела біля р. Немишля в м. Харкові, де показ-

ники якості перевищують екологічні норми, як порівняти з результатами якості вод, відібраних з джерела парку Юність.

Методика аналізу ґрунтується на розрахунку індексів небезпеки для кожного забруднювача та загального ризику для здоров'я. У процесі дослідження визначили неканцерогенний ризик для виявлених основних забруднювачів питних вод. Розрахунок здійснювався на основі середньодобової дози (LADI), яка надходить до організму людини в процесі споживання води, результати порівнювали з безпечними референтними дозами для визначення індексу небезпеки (HQ) [12].

Формули для розрахунку ризику: середньодобова доза (LADI) розраховується за формулою

$$LADI = \frac{C_w \times V \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365}, \quad (1)$$

де C_w – концентрація речовини у воді, мг/л; V – середнє споживання води на добу, л/добу (2 л для дорослих та 1 л для дітей); EF – частота експозиції, діб/рік (350 діб/рік); ED – тривалість експозиції, роки (30 років для дорослих, 6 років для дітей); BW – маса тіла, кг (70 кг для дорослих, 15 кг для дітей); AT – період експозиції, роки (30 років для дорослих, 6 років для дітей);

2 індекс небезпеки (HQ) визначається як співвідношення середньодобової дози (LADI) до референтної дози (RfD):

$$HQ = \frac{LADI}{RfD}. \quad (2)$$

HI та *HQ* усіх речовин і сполук, що досліджувались, були розраховані для дорослих (формула 3) і дітей (формула 4):

$$LADI_1 = \frac{C_w \times \frac{2l}{\text{добу}} \times \frac{350\text{діб}}{\text{рік}} \times 30\text{років}}{70\text{кг} \times 30\text{років} \times 365}, \quad (3)$$

$$LADI_2 = \frac{C_w \times \frac{1l}{\text{добу}} \times \frac{350\text{діб}}{\text{рік}} \times 6\text{років}}{15\text{кг} \times 6\text{років} \times 365}. \quad (4)$$

Розрахунок ризиків (*LADI* та *HQ*) для параметрів рН, запах і прозорість є не зовсім коректним, оскільки рН не є хімічною речовиною, яку організм може засвоїти чи накопичувати. Рівень рН впливає на смак та має корозійний вплив на трубопроводи, але не має середньодобової дози для розрахунку індексу небезпеки. Індекс *HQ* для нього не визначається, бо рН не є токсином. Запах і прозорість – це фізичні характеристики води, які не свідчать про кількісну концентрацію конкретних токсичних речовин. Для усіх інших досліджуваних речовин були розраховані ризики *LADI* та *HQ* для обох джерел (табл. 3).

Таблиця 3 – Індекси небезпеки для дорослих і дітей у разі споживання підземних вод різної якості

Забруднювач	Проба	<i>LADI</i> для дорослих	<i>HQ</i> для дорослих	<i>LADI</i> для дітей	<i>HQ</i> для дітей	Референтна доза $RfD, \frac{\text{мг}}{\text{кг}} - \text{доба}$
Нітрати	1	0,493	0,308	1,15	0,719	1,6
	2	0	0	0	0	
Хлориди	1	13,81	46,03	32,22	107,40	0,3
	2	11,40	37,99	26,59	88,65	
Залізо	1	0,0000274	0,0000391	0,000064	0,0000913	0,7
	2	0,0141	0,020	0,033	0,0471	
Цинк	1	0,0001644	0,0005479	0,000384	0,001279	0,3
	2	0,0251	0,0838	0,0587	0,796	
Мідь	1	0,0000274	0,000685	0,000064	0,0016	0,04
	2	0,0025	0,00626	0,000584	0,0146	
Марганець	1	0	0	0	0	0,14
	2	0,000055	0,00039	0,000128	0,00091	
Кадмій	1	0,0000274	0,0274	0,000064	0,0639	0,0001
	2	0,00000274	0,0027	0,00000639	0,0064	
Хром	1	0	0	0	0	0,003
	2	0	0	0	0	
Нітриди	1	0,0005	0,0055	0,0013	0,0128	0,1
	2	0,0000472	0,00047	0,00011	0,0011	
Аміак	1	0,0022	0,0219	0,0051	0,0511	0,1
	2	0,0011	0,0109	0,0026	0,0256	
Лужність	1	0,2247	11,2329	0,5242	26,2100	0,02
	2	0,2054	10,2687	0,4791	23,9565	
Жорсткість	1	0,3178	10,5933	0,7418	24,7256	0,03
	2	0,2465	8,2169	0,5747	19,1578	

Під час аналізу значень ризиків *LADI* і *HQ* було визначено таке:

- значення *HQ* для хлоридів в обох пробах перевищує 1 як для дорослих, так і для дітей, що вказує на підвищений ризик для здоров'я. Показник для дітей особливо високий, що потребує посиленого контролю;

- значення *HQ* для нітратів у першій пробі у дітей вдвічі вище за показники у дорослих, але все ще нижче за 1. Це свідчить про прий-

нятний рівень ризику, хоча варто врахувати можливість накопичення з часом;

- значення *HQ* для заліза, цинку, міді, марганцю, кадмію та хрому показують мінімальні ризики під час вживання води з джерел дослідження.

Таким чином, найбільш ризиковим фактором є підвищений рівень хлоридів. Це особливо небезпечно для здоров'я дітей [20, 25]. Тож необхідно періодично здійснювати мо-

ніторинг та розробити заходи для зниження концентрації цих речовин у воді.

У процесі порівняння з попередніми дослідженнями спостерігаємо, що у джерельній питній воді в парку Юність індекс небезпеки для дітей 2017 р. склав 3,28, а для дорослих – 1,91. Відповідно, для джерельної питної води біля р. Немишля (2017р.) для дітей індекс небезпеки склав 3,15, а для дорослих – 1,98 [12].

Під час ранжування питної води з-поміж 12 джерел у м. Харкові за величиною HQ ці два джерела посідали перше та друге місця. У разі вживання води з підвищеною лужністю, жорсткістю, високим вмістом хлоридів висока вірогідність захворювання нирок, печінки та крові [20, 26].

Висновки

Аналіз якості підземних вод продемонстрував перевищення вмісту хлоридів на обох створах дослідження. У пробах води, відібраних у парку Юність, виявлено перевищення лужності та жорсткості; у пробах води, відібраних у джерелі біля р. Немишля, – перевищення вмісту заліза і достатньо високий вміст цинку (не перевищує екологічні нормативи). Усі інші показники (запах, прозорість, рН, аміак, нітрити, нітрати, мідь, марганець, кадмій, хром) знаходяться в межах допустимих екологічних норм.

У процесі розрахунків ризиків LADI та HQ для обох джерел визначено, що значення HQ для хлоридів в обох пробах перевищує 1 та вказує на підвищений ризик для здоров'я; значення HQ для нітратів (вода парку Юність) у дітей вдвічі вище за значення в дорослих, але все ще нижче за 1, що свідчить про прийнятний рівень ризику; значення HQ для заліза, цинку, міді, марганцю, кадмію та хрому визначають мінімальні ризики в разі вживання води з джерел дослідження.

Виявлені ризики для здоров'я населення свідчать про підвищену небезпеку, зокрема для дітей та осіб з хронічними захворюваннями, які можуть бути більш вразливими до тривалого впливу забрудненої води. Використання таких вод призводить до збільшення випадків захворювань, пов'язаних з метгемоглобінемією, іншими патологіями.

Застосування результатів роботи дозволить поліпшити систему контролю за якістю підземних вод у місті та в регіоні, підвищить безпеку питного водопостачання, знижуючи вплив на здоров'я та покращуючи якість життя населення.

Література

1. Про питну воду та питне водопостачання: Закон України від 10.01.2002 № 2918-III. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2918-14> (дата звернення: 05.04.2025).
2. World water assessment programme. Un-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) strategy: 2023–2030. UN World Water Development Report. 23/011/2023. URL: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2022/> (accessed: 06.04.2025).
3. Preisner M. Water: The Most Undervalued Resource on Earth. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2022. Vol. 78. No. 1. P. 5–6. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.78.1.31054> (дата звернення: 07.04.2025).
4. Шестопалов В. М., Люта Н. Г. Щодо оптимального співвідношення поверхневих і підземних вод у водопостачанні населення в Україні. *Мінеральні ресурси України*. 2024. 1. С. 41–49. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.41-49> (дата звернення: 11.04.2025).
5. Статистичний щорічник України 2019 / Ш.Є Вернер та ін. Київ, 2020. 465 с. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.04.2025).
6. Короткий звіт щодо прогресу впровадження Протоколу про воду і здоров'я в Україні у 2019–2021 роках. Міністерство екології та природних ресурсів України Київ. 2022. 68 с. URL: <https://mepr.gov.ua>. Upload 2022/09 (дата звернення: 10.04.2025).
7. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022р. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури. Київ. 2023р. 397 с. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (дата звернення: 10.04.2025).
8. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 р. Міністерство розвитку громад та територій України. Київ. 2024 р. 438 с. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (дата звернення: 14.04.2025).
9. Короткий звіт щодо прогресу впровадження Протоколу про воду і здоров'я в Україні у 2022–2024 рр. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. Київ. 2025. 79 с. URL: <https://mepr.gov.ua/uploads>2025/05> (дата звернення: 15.04.2025).
10. Ричак Н. Л., Чепурна А. О. Склад та якість питної води різних джерел водопостачання (на прикладі Дзержинського району м. Харкова). *Вісник Кременчуцького національного університету імені М. Остроградського*. 2012. № 6 (77). С. 112–117.

11. Ранжування питної води з різних джерел водопостачання за екологічними та соціально-економічними показниками / Н. Л. Ричак та ін. *Науковий вісник будівництва*. 2013. Вип. 74. С. 370–377.
12. Бригада О.В., Рибалова О.В., Росколотько А. В. Оцінка ризику для здоров'я населення при вживанні питної води з джерел м. Харкова. *Науковий вісник*. 2017. Т. 90. № 4. С. 164–170. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2017_90_4_30 (дата звернення: 15.04.2025).
13. Лісняк А. А., Кулик М. І. Оцінка якості вод з різних джерел водопостачання у Київському районі м. Харкова. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна серія «Екологія»*. 2024. №30. С. 36–48. URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-03> (дата звернення: 16.04.2025).
14. Прибилова В. М., Качан А. М. Хімічний склад підземних вод Харківської області як фактор ризику для здоров'я населення. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. Вип. 46. С. 37–45. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-04> (дата звернення: 17.04.2025).
15. Tsiarapas A., Mallios Z. A Study on Water Markets and the International Experience Gained from their Establishment. *Environmental Research, Engineering and Management*. 2022. Vol. 78. No. 1. P. 6–30. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.78.1.30133> (дата звернення: 23.04.2025).
16. Yi F., Chen L., Yan F. The health risk weighting model in groundwater quality evaluation. *Human and Ecological Risk Assessment*. (2019). 25 (8). P. 2089–2097. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1488581> (дата звернення: 23.04.2025).
17. Tongesayi S., Tongesayi T. Water Quality and Public Health. *Chemistry and Water*. 2017. (Book. P. 553–596). URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809330-6.00017-9> (дата звернення: 27.04.2025).
18. Wu J., Zhang Y., Zhou H. Groundwater chemistry and groundwater quality index incorporating health risk weighting in Dingbian county, Ordos basin of northwest China. *Geochemistry*. (2020). 80 (4). 125607. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125607> (дата звернення: 27.04.2025).
19. Machona S, Ogendi G. M., Ahana B.S. Assessment of groundwater quality for drinking using the water quality index. *Water Quality Research Journal*. 2025. 60 (1). P. 151–163. URL: <https://doi.org/10.2166/wqrj.2025.047> (дата звернення: 03.05.2025).
20. Lamb C., Copeland C., Moncrieff C. A Wave of Change: the Role of Companies in Building A Water-Secure World. CDP Global Water Report 2000. (2021). PreventionWeb. P.37. URL: <https://www.preventionweb.net/publication/wave-change-role-companies-building-water-secure-world> (дата звернення: 03.05.2025).
21. Про ратифікацію Протоколу про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 року: Закон України від 09.07.2003 № 1066-IV. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1066-15> (дата звернення: 11.05.2025).
22. Про затвердження Державних санітарних норм і правил «Показники безпечності та окремі показники якості питної води в умовах воєнного стану та надзвичайних ситуаціях іншого характеру»: Наказ МОЗ України від 22.04.2022 № 683. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0564-22> (дата звернення: 12.05.2025).
23. Про затвердження Правил охорони підземних вод: Наказ Міндовкілля від 11.05.2023 № 325. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkilliya-325-vid-11-05-2023/> (дата звернення: 17.05.2025).
24. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10): Наказ МОЗ України від 12.05.2010 № 400. База даних «Законодавство України». Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0452-10> (дата звернення: 17.05.2025).
25. JM van Grinsven H., Ward M. H., Benjamin N., de Kok T. M. Does the evidence about health risks associated with nitrate ingestion warrant an increase of the nitrate standard for drinking water? *Environmental Health*. 2006. Vol 5. Article number: 26. URL: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-5-26> (дата звернення: 22.05.2025).
26. Diseases and risks / WHO. URL: <https://www.who.int/water-sanitation-health/diseases-risks/en> (дата звернення: 26.05.2025).

References

1. On drinking water and drinking water supply: Law of Ukraine of 10.01.2002 No. 2918-III. Database 'Legislation of Ukraine'. Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/2918-14> (accessed: 05.04.2025).
2. World water assessment programme. Un-water global analysis and assessment of sanitation and drinking-water (GLAAS) strategy: 2023–2030. UN World Water Development Report. 23/011/2023. URL: <https://www.unwater.org/publications/un-world-water-development-report-2022/> (accessed: 06.04.2025).
3. Preisner, M. Water. (2022). The Most Undervalued Resource on Earth. *Environmental Research, Engineering and Management*. Vol. 78. No. 1. P. 5–6. URL: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.78.1.31054> (accessed: 07.04.2025).

4. On the optimal ratio of surface and groundwater in the water supply of the population in Ukraine. *Mineral resources of Ukraine*. 2024. 1. C. 41–49. URL: <https://doi.org/10.31996/mru.2024.1.41-49> (accessed: 11.04.2025).
5. Statistical Yearbook of Ukraine 2019 / edited by S.E. Werner. Kyiv, 2020. 465 c. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (accessed: 10.04.2025).
6. Short report on the progress of the implementation of the Protocol on Water and Health in Ukraine in 2019-2021. Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. 2022. 68 c. URL: <https://mepr.gov.ua/Upload/2022/09> (accessed: 10.04.2025).
7. National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and sanitation in Ukraine in 2022. Ministry of Communities, Territories and Infrastructure Development. Kyiv. 2023. 397 p. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (accessed: 10.04.2025).
8. National report on the quality of drinking water and the state of drinking water supply and sanitation in Ukraine in 2023. Ministry of Development of Communities and Territories of Ukraine. Kyiv. 2024. 438 p. URL: <https://mtu.gov.ua/content/nacionalna-dopovid-pro-yakist-pitnoi-vodi-ta-stan-pitnogo-vodopostachannya-v-ukraini.html> (accessed: 14.04.2025).
9. Short report on the progress of the implementation of the Protocol on Water and Health in Ukraine in 2022-2024. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. Kyiv. 2025. 79 c. URL: <https://mepr.gov.ua/uploads/2025/05> (accessed: 15.04.2025).
10. Rychak, N. L., Chepurna, A. O. (2012). Composition and quality of drinking water from different sources of water supply (on the example of Dzerzhynskiy district of Kharkiv). *Bulletin of Kremenchuk M. Ostrohradskiy National University*. № 6 (77). C. 112–117.
11. Rychak, N.L., Utkina, K. B., Kravchenko, N.B., Kulyk, M. I. (2013). Ranking of drinking water from different sources of water supply by environmental and socio-economic indicators. *Scientific Bulletin of Construction*. Issue 74. C. 370–377.
12. Brigada, O. B., Rybalova, O. B., Roskolotko, A. V. (2017). Assessment of the risk to public health when drinking drinking water from sources in Kharkiv. *Kharkiv. Scientific Bulletin*. 2017. T. 90. № 4. C. 164–170. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvb_2017_90_4_30 (accessed: 15.04.2025).
13. Assessment of water quality from different sources of water supply in the Kyiv district of Kharkiv. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series "Ecology"*. 2024. № 30. P. 36–48 URL: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2024-30-03> (accessed: 16.04.2025).
14. Chemical composition of groundwater in the Kharkiv region as a risk factor for public health. *Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Geology. Geography. Ecology*. 2017. Issue 46. P. 37–45. URL: <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2017-46-04> (accessed: 17.04.2025).
15. Tsirapas, A., Mallios, Z. (2022). A Study on Water Markets and the International Experience Gained from their Establishment. *Environmental Research, Engineering and Management*. Vol. 78. No. 1. P. 6–30. URL: <https://doi.org/10.5755/joi.erm.78.1.30133> (accessed: 23.04.2025).
16. Yi, F., Chen, L., Yan, F. (2019). The health risk weighting model in groundwater quality evaluation. *Human and Ecological Risk Assessment*. 25 (8). P. 2089–2097. URL: <https://doi.org/10.1080/10807039.2018.1488581> (accessed: 23.04.2025).
17. Tongesayi, S., Tongesayi, T. (2017). Water Quality and Public Health. *Chemistry and Water*. (Book. P. 553–596). URL: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809330-6.00017-9> (accessed: 27.04.2025).
18. Wu, J., Zhang, Y., Zhou, H. (2020). Groundwater chemistry and groundwater quality index incorporating health risk weighting in Dingbian county, Ordos basin of northwest China. *Geochemistry*. 80 (4). 125607. URL: <https://doi.org/10.1016/j.chemer.2020.125607> (accessed: 27.04.2025).
19. Machona, S, Ogendi, G. M., Ahana, B. S. (2025). Assessment of groundwater quality for drinking using the water quality index. *Water Quality Research Journal*. 60 (1). P. 151–163. URL: <https://doi.org/10.2166/wqri.2025.047> (accessed: 03.05.2025).
20. Lamb, C., Copeland, C., Moncrieff, C. A (2021). Wave of Change: the Role of Companies in Building A Water-Secure World. CDP Global Water Report 2000. PreventionWeb. P.37. URL: <https://www.preventionweb.net/publication/wave-change-role-companies-building-water-secure-world> (accessed: 03.05.2021).
21. On ratification of the Protocol on Water and Health to the Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes of 1992: Law of Ukraine of 09.07.2003 No. 1066-IV. Database "Legislation of Ukraine". Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1066-15> (accessed: 11.05.2025).
22. On Approval of the State Sanitary Norms and Rules 'Safety Indicators and Certain Indicators of Drinking Water Quality in Martial Law and Other Emergency Situations': Order; Ministry of Health of Ukraine of 22.04.2022 No. 683. Database "Legislation of Ukraine". Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0564-22> (accessed: 12.05.2025).
23. On Approval of the Rules for Groundwater Protection. Order of the Ministry of Ecology No. 325 of 11.05.2023. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. URL: <https://mepr.gov.ua/nakaz-mindovkilliya-325-vid-11-05-2023/> (accessed: 17.05.2025).

24. On Approval of the State Sanitary Norms and Rules "Hygienic Requirements for Drinking Water Intended for Human Consumption" (DSan-PiN 2.2.4-171-10): Order; Ministry of Health of Ukraine of 12.05.2010 № 400. Database 'Legislation of Ukraine' / Verkhovna Rada of Ukraine. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0452-10> (accessed: 17.05.2025).
25. JM van Grinsven, H., Ward, M. H., Benjamin, N., de Kok, T. M. (2006). Does the evidence about health risks associated with nitrate ingestion warrant an increase of the nitrate standard for drinking water? *Environmental Health*. Vol 5. Article number: 26. URL: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-5-26> (accessed: 22.05.2025).
26. Diseases and risks / WHO. URL: https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/en (accessed: 26.05.2025).

Внукова Наталія Володимирівна¹, д.т.н., проф., проф. каф. екології, vnukovanv@ukr.net, тел. +38 050-596-69-11,

Ричак Наталія Львівна¹, к.г.н., доц., доц. каф. екології, rychak@ukr.net, тел. +38 050-630-31-70,

Христенко Олександр Костянтинович², магістр екології, khristenkolol@gmail.com, тел. +38 096-020-61-30,

¹Харківський національний автомобільно - дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна;

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, пл. Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна.

The environmental issues of groundwater quality and risks to public health from its consumption

Abstract. *The article is devoted to determining the quality of drinking groundwater and assessing the health risks of drinking low-quality water. Solving this problem is extremely important for preserving the health of the nation and improving the quality of life of the population. Current problems with access to quality drinking water are associated with growing pollution of surface water bodies and a decrease*

in water availability. The essence of the problem lies in the need for a comprehensive approach to assessing the quality of groundwater used for drinking water supply, as even minor exceedances of harmful substances lead to health problems. Risk assessment is an important step for further monitoring and correction of the water supply situation. Goal. The objective is to conduct a comprehensive assessment of risks and vulnerabilities to public health when using groundwater for drinking water consumption. Methodology. Hydrochemical analysis of groundwater composition and risk-based modeling were used to determine groundwater quality and assess health risks. Results. The chemical composition of groundwater was determined. Among 10 chemical compounds, a tendency to exceed the content of chlorides in groundwater in the urbanized area of Kharkiv was found. The calculation of the hazard index for chlorides indicates an increased risk to health (for adults and children); for nitrates – an acceptable level of risk; for iron, zinc, copper, manganese, cadmium, and chromium - minimal risks. Originality. The risks to public health associated with the long-term use of groundwater for drinking water supply were assessed. Practical value. It consists of the possibility of applying its results to improve the groundwater monitoring system, optimize water treatment, and formulate regional strategies for the safe use of groundwater for drinking water consumption.

Key words: *groundwater, non-centralised drinking water supply, public health, risk assessment*

Vnukova Natalia¹, professor, Doct. of Science, prof. of the Department of Ecology, vnukovanv@ukr.net, tel. +38 050-596-69-11,

Rychak Natalia¹, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Ecology, rychak@ukr.net, tel. +38 050-630-31-70

Khristenko Oleksandr², Master of Ecology, khristenkolol@gmail.com, tel. +38 096-020-61-30,

¹Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudroho str., Kharkiv, 61002, Ukraine,

²Kharkiv National University V. N. Karazin, Svobody sq., 4, Kharkiv, 61022, Ukraine.