

ДЕЯКІ ОСОБЛИВОСТІ НІТРАТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЖЕРЕЛ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ В ЗОНІ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ

Яковлєв В.В., Дмитренко Т.В.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
вул. Чорноглазівська, 17, 61002, м. Харків
yakovlev030157@gmail.com, tetyana.dmytrenko@kname.edu.ua

Протягом останніх десятиліть використання й споживання води з децентралізованих джерел населенням постійно зростає. Війна та пов'язані з нею руйнування інфраструктури водопостачання та водовідведення тільки підтверджують актуальність вивчення придатності води таких джерел для використання населенням. Ці джерела переважно базуються на першому від поверхні землі водоносному горизонті. Нітратне забруднення ґрунтових вод в українських селах більшою мірою обумовлене відсутністю систем водовідведення. Дослідження базувалися на аналізі масиву даних атестованої науково-виробничої лабораторії ТОВ «Лабораторія якості води «ПЛАЯ» за переліком показників у межах стандартного аналізу природних вод. У процесі дослідження виконано кореляційний аналіз для виявлення зв'язку вмісту нітратів та інших показників соляного складу ґрунтових вод – вмісту хлоридів, солей жорсткості й величини сухого залишку. Виконано просторовий і статистичний аналіз на прикладі Харківської області, який показав, що закономірною є стратифікація вмісту нітратів за глибиною. Порівняння з якістю води в природних джерелах свідчить про те, що вміст нітратів збільшується в самих каптажних спорудах – колодязях внаслідок накопичення біологічної субстанції, для якої ємність каптажу наближена до поверхні і є середовищем проживання. Кількісно охарактеризована залежність вмісту нітратів у воді від глибини колодязів і свердловин. Обґрунтовано необхідність удосконалення нормативів і застосування практичних заходів щодо удосконалення конструкцій каптажів децентралізованого водопостачання. Для більш точної ідентифікації джерел забруднення на конкретних об'єктах запропоновано дослідження ізотопного складу азоту, кисню і водню. *Ключові слова:* нітратне забруднення, колодязь, джерело, свердловина, децентралізоване водопостачання, ізотопні методи.

Some Features and Characteristics of Nitrate Pollution of Decentralised Water Supply Sources in the Areas of Man-Caused Impact. Yakovlev V., Dmytrenko T.

In recent decades, the use and consumption of water from decentralised sources by the population has been constantly growing. The war and the associated destruction of water supply and drainage infrastructure only confirm the relevance of studying the suitability of such sources for use by the population. These sources are mainly based on the first aquifer from the surface of the earth. Nitrate pollution of groundwater in Ukrainian villages is largely due to the lack of drainage systems. The survey was based on the analysis of the data array obtained by the certified R&D laboratory – the Laboratory of Water Quality of LLC 'Plaia' according to the list of indicators within the standard analysis of natural waters. In this survey, a correlation analysis was performed to identify the relationship between the content of nitrates and other indicators of the salt composition of groundwater, viz. chlorides, hardness salts and the amount of dry residue. The spatial and statistical analyses were carried out exemplified by the Kharkiv region, which showed that stratification of nitrate content by depth is regular. Comparison with water quality in natural sources indicates that nitrate content increases in the capping structures themselves – wells as a result of accumulation and destruction of organic substances of biological origin; for microorganisms the capacity of the capping is close to the surface and is a habitat. The dependence of nitrate content in water on the depth of wells and boreholes is quantitatively characterised. The necessity of improving the standards and applying practical measures to improve the design of decentralised water supply catchments is substantiated. For more accurate identification of pollution sources at specific sites, it is proposed to study the isotopic composition of nitrogen, oxygen, and hydrogen. *Key words:* nitrate pollution, water well, water source, drillhole, decentralised water supply, isotope methods.

Постановка проблеми. Відсутність систем водовідведення і хімізація землеробства в сільській місцевості є головними факторами забруднення ґрунтових вод, які використовуються для господарських і питних цілей. Відомо, що якість води з джерел індивідуального водопостачання не контролюється органами санітарного контролю, і українське законодавство не передбачає такого контролю. Проблема ускладнюється необізнаністю населення і втратою традиції чистки каптажів індивідуального користування, якими у багатьох випадках є колодязі, а також каптажі джерел. Автори роботи аналізують дані якісного складу води у джерелах децентралізованого

водопостачання на прикладі Харківського регіону з метою виявлення просторових закономірностей нітратного забруднення і статистичних кореляцій між вмістом нітратів та іншими показниками хімічного складу води.

Актуальність дослідження. Джерелами нітратного забруднення колодязних вод можуть бути фільтрація стічних вод у неканалізованих селах і передмістях, органічне забруднення від домашньої худоби, тваринницьких ферм, органічних добрив і практично повсюдний вплив хімізації у землеробстві [1,2].

Лабораторні аналізи води з децентралізованих джерел водопостачання, виконані за переліком пара-

метрів згідно з ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» [3], показали, що найчастіше виявляються порушення за рівнем жорсткості, вмістом нітратів, величиною сухого залишку, окиснюваності, вмістом сульфатів, бактеріологічними показниками, та ін. Серед цього переліку найбільшою проблемою є нітрати, які належать до токсичних показників і вкрай важко видаляються з води. Навіть, використання зворотного осмосу, яке усуває всі розчинені компоненти й тим самим робить воду фізіологічно непридатною, видаляє нітрати не повністю. Нітратне забруднення є однією з головних проблем якості питної води з децентралізованих джерел водопостачання і, навіть, причиною дитячої смертності [4–6]. Харківська область не є виключенням, адже майже все сільське і частина міського населення області використовують воду з колодязів, неглибоких свердловин і каптажів джерел в господарсько-побутових та питних цілях. Таким чином, проблема нітратного забруднення води залишається завжди актуальною.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Тема роботи відповідає основним принципам і напрямкам державної політики щодо охорони, раціонального використання та відновлення водних ресурсів України, зокрема, Водному Кодексу України (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1995, № 24, ст. 189) [7], Концепції Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р.) [8], Директиви Ради від 12 грудня 1991 року щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (Директива № 91/676/ЄЕС) від 31.12.1991 р. [9].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Необхідно зазначити, що нітрати, які можна визначити у воді відносно простими аналізами, є трасерами всякого іншого забруднення підземних вод, для виявлення якого потрібні спеціальні кропітки й коштовні дослідження. Це є додатковим стимулом для вивчення нітратного забруднення води.

Зважаючи на актуальність проблеми нітратного забруднення колодязних вод, доцільним є вивчення питання можливого удосконалення конструкцій традиційних колодязів з точки зору сучасного рівня забрудненості ґрунтів зони аерації [10].

Найкращий шлях боротьби з нітратним забрудненням – усунути його причину, тобто запобігти потраплянню азотних сполук до ґрунтів і ґрунтових вод. Для цього необхідно визначити джерела забруднення і шляхи їх надходження. На думку авторів, це можливо зробити двома шляхами. Перший, традиційний гідрогеологічний – вивчення картини розповсюдження нітратів у підземній гідросфері конкретної ділянки, яка вкаже на джерела і шляхи забруднення. Другий – використання ізотопного методу з визна-

ченням співвідношення ізотопів кисню й азоту, а також водню, що вкаже на вік і, головне, на походження цієї забрудненої води. Подібні дослідження у регіоні вже виконувалися і показали свою ефективність [11].

Завданням роботи є реалізація першого вище згаданого методу на прикладі Харківського регіону, а саме вивчення картини розповсюдження нітратів у підземній гідросфері та виявлення кореляційних зв'язків між показниками хімічного складу води для визначення можливих джерел і шляхів забруднення підземних вод.

Матеріали та методика дослідження. Дослідження базуються на аналізі масиву даних – протоколів хімічного складу води, наданих атестованою науково-виробничою лабораторією ТОВ «Лабораторія якості води «ПЛАЯ». Перелік показників відповідає стандартному аналізу природних вод. Аналітичне визначення вмісту нітратів і інших компонентів виконувалося за методиками та стандартами визначення показників безпечності та якості питної води.

Аналізувалися дані протоколів якості води з приватних колодязів, свердловин і природних джерел у Харківському регіоні (Харківський, Чугуївський, Берестинський та Ізюмський адміністративні райони), отримані за період з 2018 по 2022 рр.

Проби води відбиралися співробітниками кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова та надходили від приватних замовників – власників децентралізованих джерел водопостачання. Відбір води з децентралізованих джерел (колодязів, неглибоких свердловин, природних джерел) проводився згідно зі стандартною методикою [3] у пластикові пляшки об'ємом 2,0 дм³.

Схематично розташування місць відбору проб води з джерел децентралізованого водопостачання показано на рис. 1. Для зручності градація вмісту нітратів у воді показана з використанням різних кольорів.

Оцінка якісного складу води за окремими показниками здійснювалася згідно з чинними нормативами [3].

Залежність концентрації нітратів від глибини каптажної споруди виявлялася графічно на побудованих графіках, а також статистично для кластерів різних глибин каптажів.

Авторами виконаний кореляційний аналіз для виявлення зв'язку вмісту нітратів та інших показників соляного складу ґрунтових вод – вмісту хлоридів, сульфатів, солей жорсткості й величини сухого залишку. Коефіцієнт парної кореляції r визначався за формулою 1:

$$r = \frac{\sum (x_i - x_{cs}) * (y_i - y_{cs})}{\sqrt{\sum (x_i - x_{cs})^2 * \sum (y_i - y_{cs})^2}}, \quad (1)$$

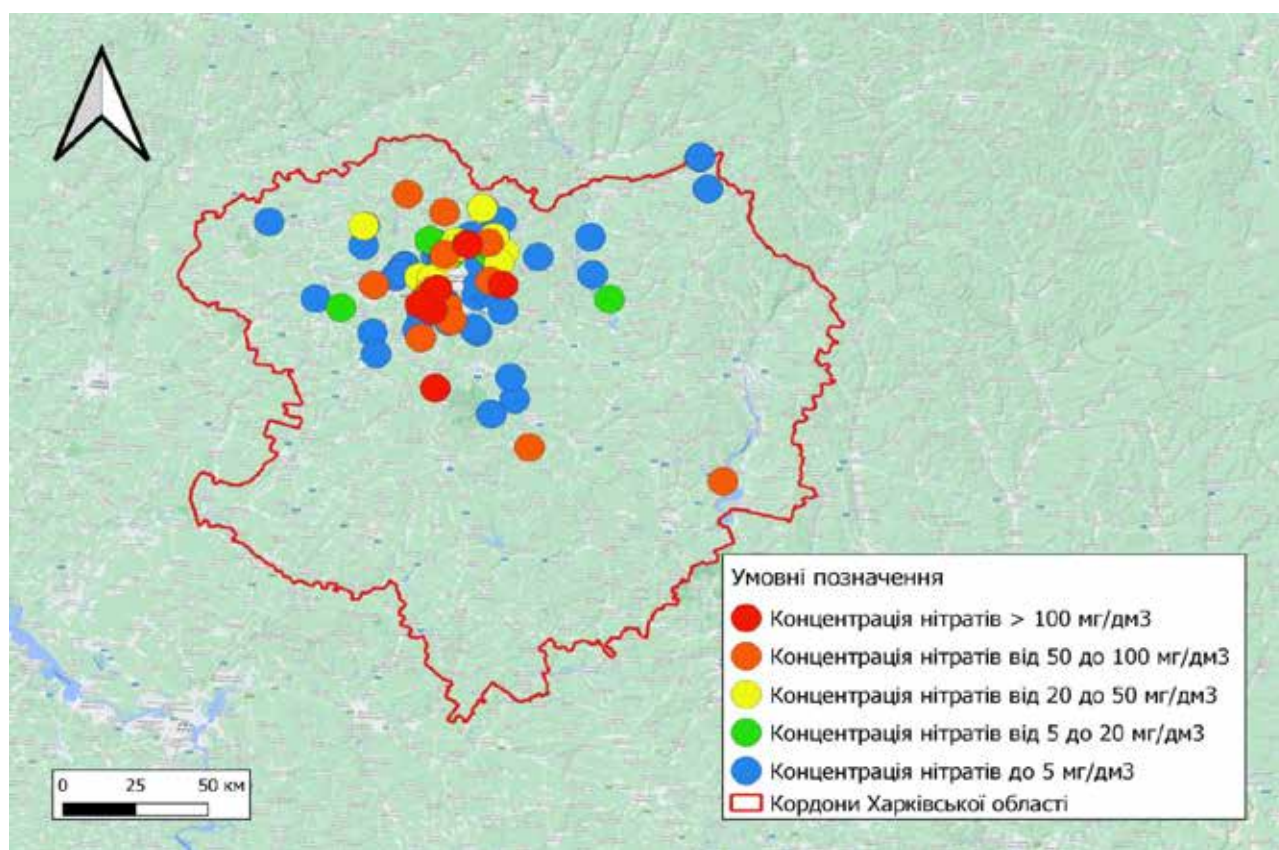


Рис. 1. Схема розташування опробуваних водопунктів – джерел децентралізованого водопостачання і вміст нітратів у воді

де x – залежна змінна, яка відповідає вмісту нітратів;

y – незалежна змінна, яка відповідає показникам соляного складу питної води;

$x_{ср}$, $y_{ср}$ – середні значення змінних.

Викладення основного матеріалу. За результатами аналізу органолептичних, фізико-хімічних та санітарно-токсикологічних показників якості води, встановлено, що концентрація нітратів у відібраних пробах води розподіляється наступним чином:

- у 93 каптажах – до 5 мг/дм³;
- у 29 каптажах – від 5 до 20 мг/дм³;
- у 24 каптажах – від 20 до 50 мг/дм³;
- у 17 каптажах коливається від 50 до 100 мг/дм³;
- концентрація понад 100 мг/дм³ зафіксована у 12 джерелах водопостачання.

У цілому, за вмістом нітратів порушення норм якості питної води (більше ніж 50 мг/дм³) відбувається у 16,6 % випадків. З рис. 1 видно, що вміст нітратів у воді колодязів не виявляє якоїсь закономірності за площею. Це наводить на думку про можливу залежність вмісту нітратів від конструктивних і санітарних особливостей конкретних каптажів.

Якщо порівняти вміст нітратів у воді колодязів і свердловин глибиною до 20 м (рис. 2), можна побачити, що середня концентрація нітратів у колодязях значно більша. Це може бути пов'язано з більшою

відкритістю цих каптажів, що сприяє потраплянню атмосферного повітря, сонячного світла, пилу, комах. Тут більш застійний режим накопиченої води, підвищена температура в теплий період року, і тому існують порівняно сприятливі умови для розвитку бактерій і водоростей. Нітрати є продуктом розпаду біоти й накопичуються на дні та стінках колодязів.

Аналіз картини забруднення за глибиною виявив певну закономірність.

На рис. 2–5 наведено графіки залежності вмісту нітратів у воді від глибини колодязів і свердловин. З графіків видно, що загалом, зі збільшенням глибини водозабірних споруд, вміст нітратів у воді зменшується.

Визначено середній розрахунковий вміст нітратів у підземних водах Харківської області для водопунктів різної глибини (рис. 6).

В табл. 1 наведено результати кореляційного аналізу для виявлення зв'язку вмісту нітратів та інших показників соляного складу ґрунтових вод – вмісту хлоридів, солей жорсткості й величини сухого залишку.

З табл. 1 видно, що з показником жорсткості нітрати не корелюють.

Помірний зв'язок за шкалою Чеддока між концентрацією нітратів та сухим залишком спостерігається в інтервалі глибин 21–50 м, а на менших і біль-

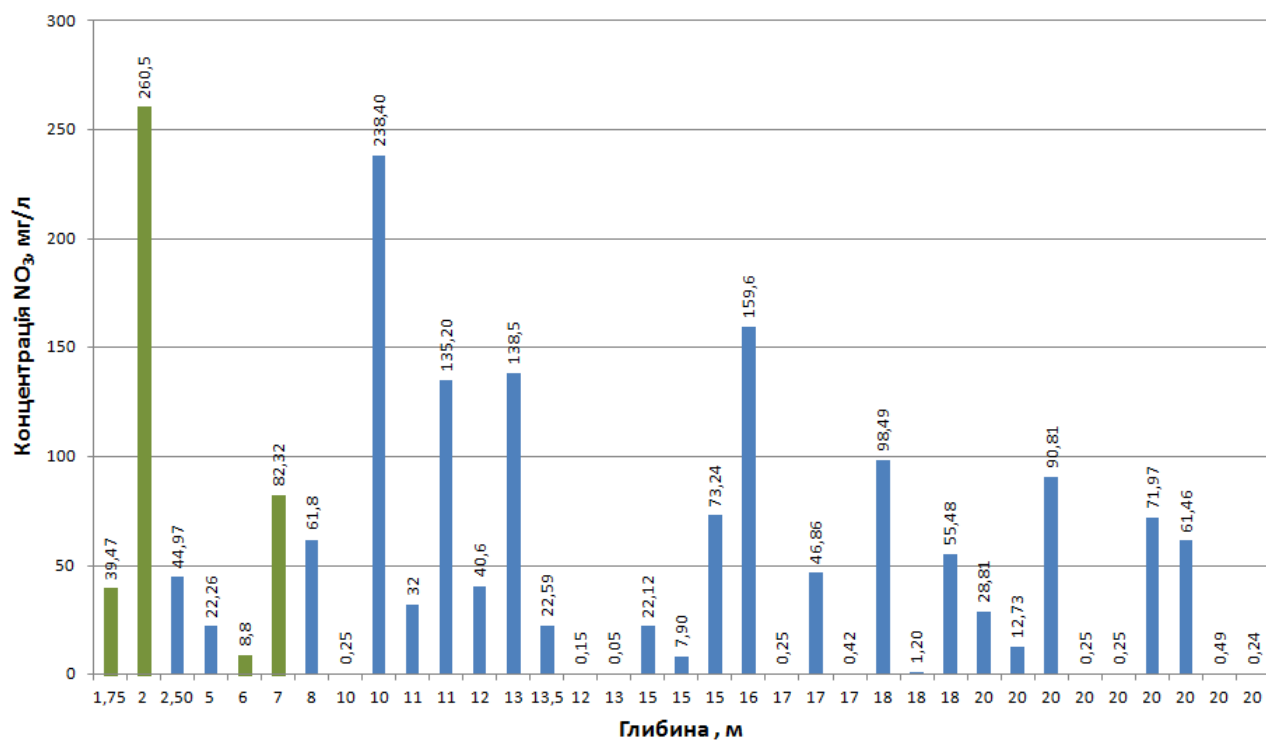


Рис. 2. Вміст нітратів у підземних водах у колодязях і свердловинах глибиною від 0 до 20 м

■ – колодязь, ■ – свердловина

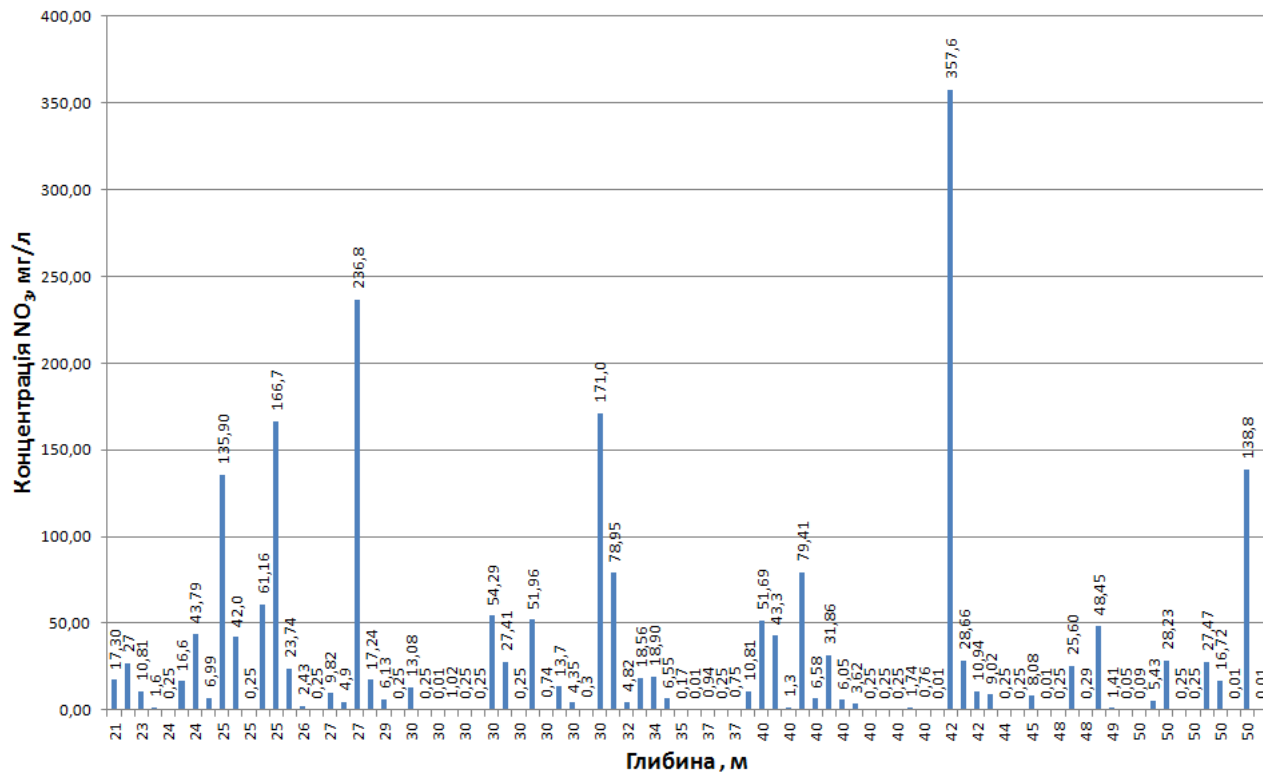


Рис. 3. Вміст нітратів у підземних водах у свердловинах глибиною від 21 до 50 м

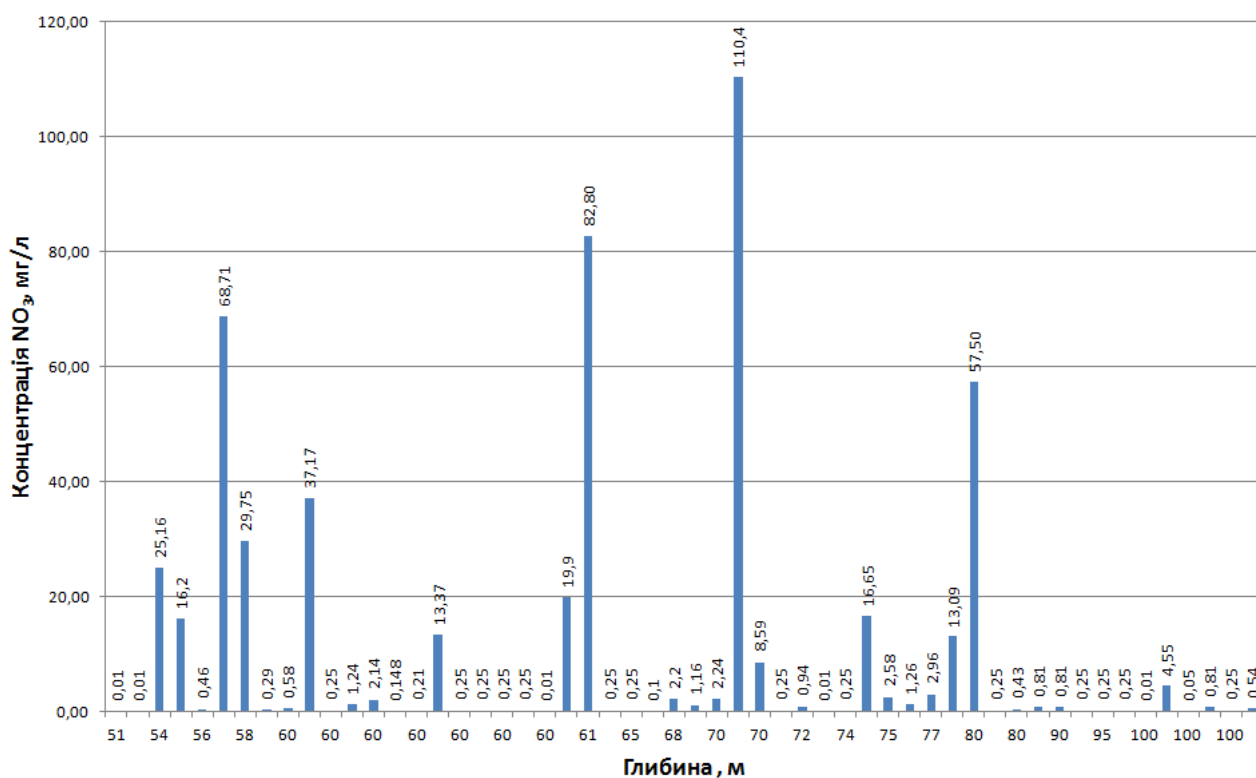


Рис. 4. Вміст нітратів у підземних водах у свердловинах глибиною від 51 до 100 м

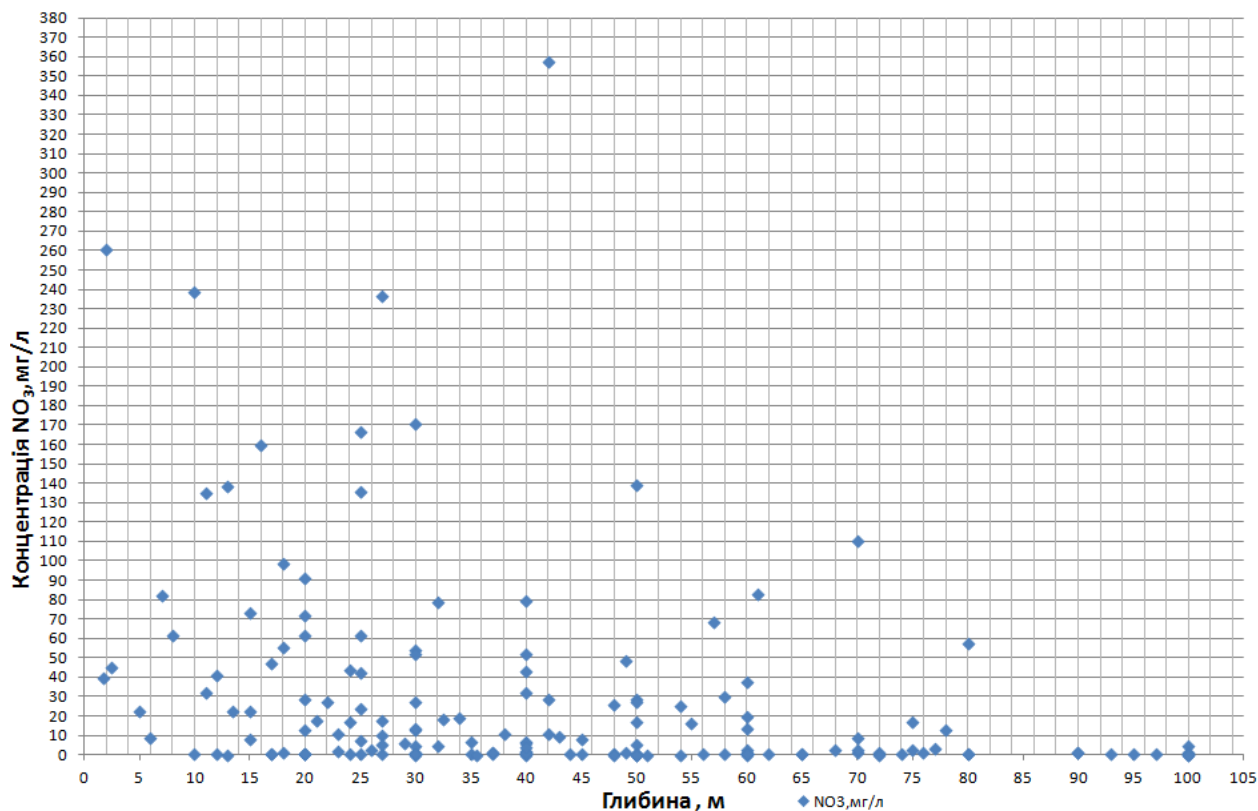


Рис. 5. Залежність вмісту нітратів у підземних водах на території Харківської області від глибин каптажних споруд

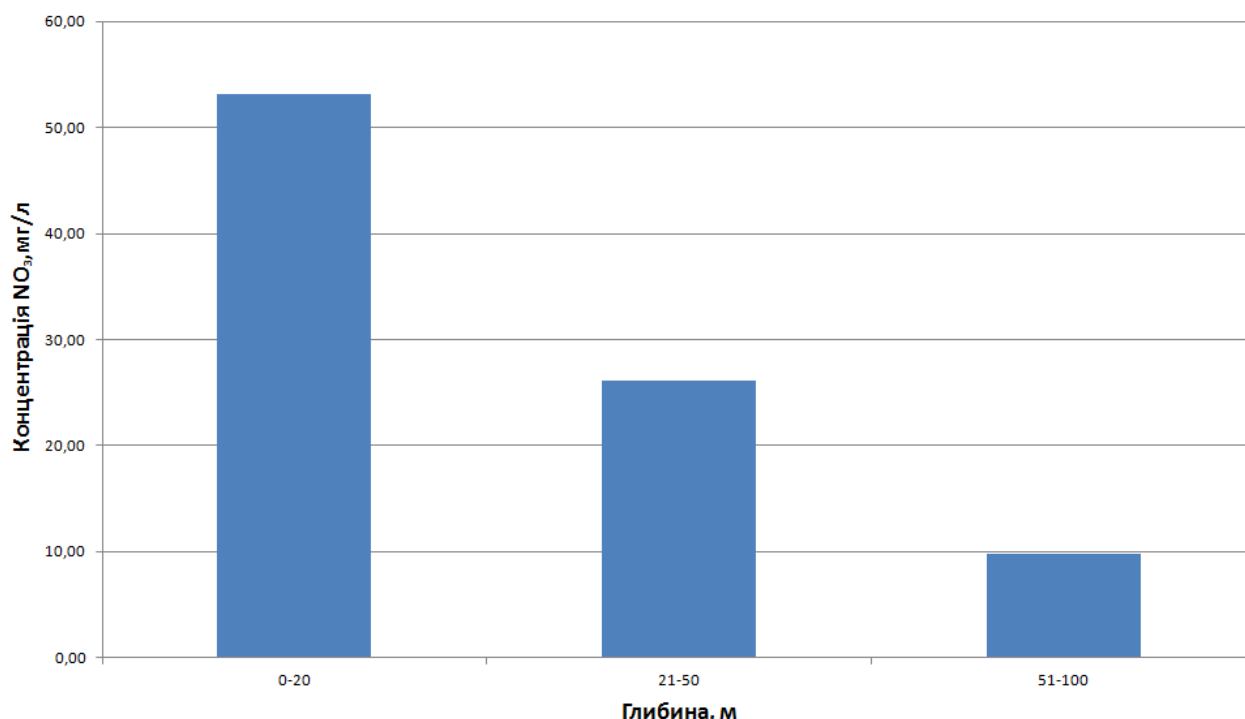


Рис. 6. Середній розрахунковий вміст нітратів у підземних водах Харківської області для водопунктів різної глибини

Таблиця 1

Розрахункові коефіцієнти парної кореляції вмісту нітратів з іншими показниками

Глибини каптажів, м	Кореляція з жорсткістю загальною	Кореляція з величиною сухого залишку	Кореляція з вмістом хлоридів
0–20	0,29	0,27	0,50
21–50	0,47	0,52	0,51
50–100	-0,05	0,11	-0,16

ших глибинах він відсутній. Для умов «прямого» гідрохімічного профілю у Харківському регіоні відсутність кореляції між вище вказаними параметрами на глибинах 0–20 м можна пояснити низькими значеннями сухого залишку у зоні інтенсивного водообміну і контрастними значеннями вмісту нітратів. На глибинах більше ніж 50 м у зоні менш інтенсивного водообміну вплив поверхневого забруднення явно менший, що може пояснюватися впливом процесу денітрифікації, обумовленого діяльністю специфічних бактерій родів *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Bacillus* і *Micrococcus*. Це процес повільний, але у зоні відносно уповільненого руху підземних вод він ефективно зменшує кількість нітратів.

Стосовно зв'язку «нітрати-хлориди» можна зазначити, що на глибинах до 50 м він є помірним. Стічні побутові води й стоки з фермерських господарств звичайно збагачені хлоридами, тому можна говорити про зв'язок нітратів з цими стоками.

Графіки залежності вмісту нітратів від загальної жорсткості, хлоридів і

сухого залишку у воді колодязів і неглибоких свердловин у Харківській області (за даними ТОВ «Лабораторія якості води «ПЛАЯ»») наведено на рис. 7–9.

В лівій частині графіку на рис. 7 можна побачити великий масив вод з відносно підвищеною жорсткістю і невеликим (фоновим) вмістом нітратів – до 30 мг/дм³. Тобто, вмісти нітратів і солей жорсткості не пов'язані. Водночас права частина графіку демонструє зростання вмісту нітратів зі збільшенням загальної жорсткості. Загалом така картина свідчить про складний характер співвідношення нітратів і солей жорсткості, що залежить від багатьох факторів: речового складу і проникності ґрунтів, інтенсивності азотного забруднення, глибини відбору води, інтенсивності діяльності азот поглинаючих бактерій.

На графіку рис. 8 також простежується загальне збільшення вмісту нітратів зі збільшенням фону хлоридів. Водночас, по аналогії з жорсткістю, для вмісту нітратів менше ніж 30 мг/дм³ для значної частини проб характерні відносно високі (непри-

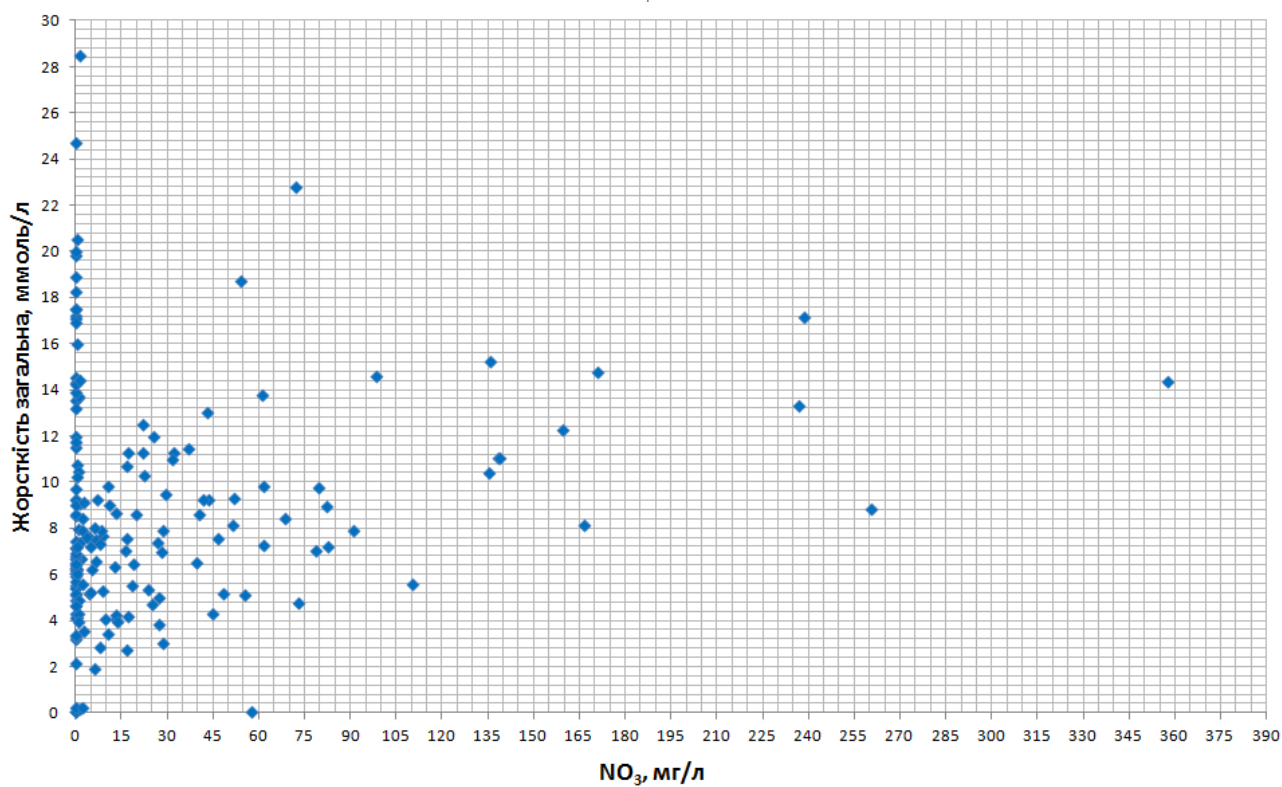


Рис. 7. Залежність вмісту нітратів від загальної жорсткості води у колодязях і неглибоких свердловинах у Харківській області

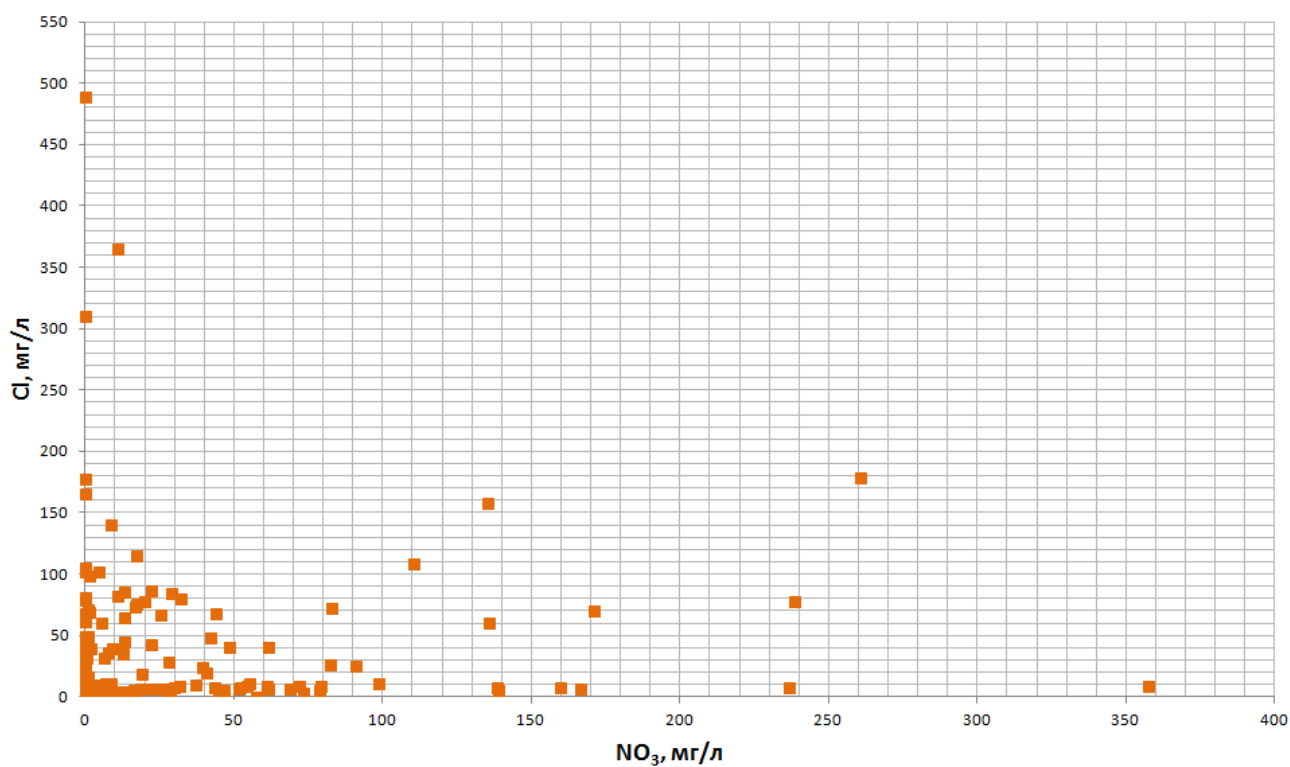


Рис. 8. Залежність вмісту нітратів від хлоридів у колодязях і неглибоких свердловинах у Харківській області

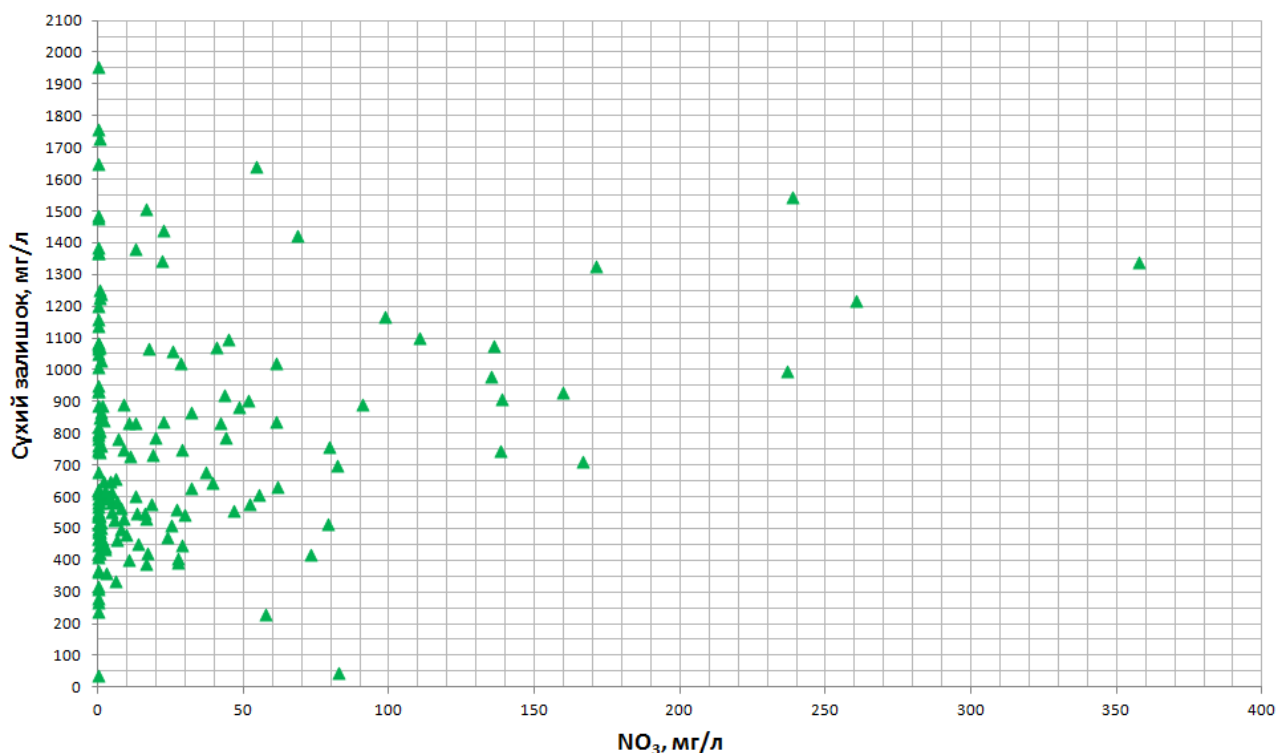


Рис. 9. Залежність вмісту нітратів від сухого залишку у колодязях і неглибоких свердловинах у Харківській області

родні) вмісти хлоридів. Загалом, така картина відображає фонові вмісти хлоридів на різних глибинах – від 25 до 100-120 мг/дм³ і фонові вмісти нітратів – до 30 мг/дм³.

Картина залежності вмісту нітратів від величини сухого залишку в цілому аналогічна: для певної частини проб простежується загальне збільшення вмісту нітратів зі збільшенням величини сухого залишку. В той самий час, по аналогії з попередніми графіками для вмісту нітратів менше ніж 30 мг/дм³ для значної частини проб характерні відносно високі (неприродні) значення сухого залишку без збільшення вмісту нітратів. Тобто підтверджується складний характер зв'язку суми солей і нітратного забруднення, яке залежить від багатьох факторів: речового складу і проникності ґрунтів, інтенсивності азотного забруднення, глибини відбору води.

Головні висновки.

1. Загальною закономірністю є зменшення у підземній воді вмісту нітратів зі збільшенням глибини каптажів. Окремі випадки відносно великого вмісту нітратів у свердловинах глибиною до 80 м вірогідно пов'язані з відсутністю ізоляції в них від забруднених вод перших від поверхні горизонтів, які перетікають в експлуатаційний горизонт зовні обсадних колон. Зважаючи на розповсюдженість такої ситуації, в Україні необхідно встановлення норм і практичних заходів для конструктивного удосконалення

каптажів з погляду захищеності підземних вод від поверхневого забруднення.

2. У Харківському регіоні для підземних вод на глибинах до 50 м існує значущий зв'язок між вмістом нітратів і хлоридів, що ймовірно свідчить про джерело надходження нітратів – стічні побутові й тваринницькі стоки.

3. Хаотичний розподіл величини концентрації нітратів у підземних водах за площею також вказує на фрагментарний характер розподілу джерел азотного забруднення за площею. Окрім побутових та тваринницьких стоків, фільтрації води з полів і городів, джерелом азотного забруднення може бути і біота, яка проникає до колодязів зі світлом і атмосферним повітрям.

4. Для більш точної ідентифікації джерел забруднення підземних вод на конкретних об'єктах доцільно залучити дослідження ізотопного складу азоту, кисню і водню.

Перспективи використання результатів досліджень. 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, розробкою природоохоронних рішень.

Подяки. Автори висловлюють подяку Кулик А. С. за технічну допомогу в обробці матеріалів.

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. Білошапської, В.Ф. Величко. Київ: Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2011. 120 с.
3. 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>
4. Яковлев В. В., Дмитренко Т. В. Природні та антропогенні зміни ґрунтових вод у зв'язку з проблемою водопостачання на прикладі с. Кишенці Уманського району Черкаської області. *Екологічні науки*. 2024. № 1 (52). Т. 2. С. 51-58. URL: http://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2024/1/part_2/12.pdf
5. Яковлев В. В., Дмитренко Т.В. Причини різної якості колодязних вод : матеріали І Міжнар. наук.-практ. конф. «Екологічні проблеми сучасності», м. Луцьк, 10 трав. 2023 р. Луцьк, 2023. С. 42-44. URL: <http://repository.vsau.org/getfile.php/33521.pdf>
6. Яковлев В.В., Дмитренко Т.В. Вивчення нітратного забруднення колодязних вод у Харківському регіоні : зб. матер. VIII Міжнар. конгресу «Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування», м. Львів, 16-18 жовт. 2024 р. Львів, 2024. С. 93. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/attachments/2024/oct/36233/stalyy-rozvytok-zakhyst-navkolyshnoho-seredovyshcha-enerhooshchadnist-20241.pdf>
7. 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>
8. Про схвалення Концепції Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 28.04.2021 р. № 388-р. *Офіційний вісник України*. 2021. № 37. Ст. 2250. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text>
9. Директиви Ради від 12 грудня 1991 року щодо захисту вод від забруднення, спричиненого нітратами з сільськогосподарських джерел (Директива № 91/676/ЄЕС). *Офіційний вісник Європейських Співтовариств*. 1991 р. L 375, стор. 1. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/987_002-91#Text
10. Яковлев В. В., Цифра Ю. М., Дмитренко Т. В. Удосконалення конструкцій каптажів децентралізованого водопостачання в сучасних екологічних умовах. *Екологічні науки*. 2023. № 1 (46). С. 59-63. URL: <https://ecoj.dea.kiev.ua/archives/2023/1/10.pdf>
11. Diadin, D., Vystavna, Y. Long-term meteorological data and isotope composition in precipitation, surface water and groundwater revealed hydrologic sensitivity to climate change in East Ukraine. *Isotopes in Environmental & Health Studies*. 56 (2). 2020. pp. 136–148. URL: <https://doi.org/10.1080/10256016.2020.1732369> (Scopus)

Дата першого надходження рукопису до видання: 21.07.2025

Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 25.08.2025

Дата публікації: