

УДК 628.1;504.064

<https://doi.org/10.31713/vs1202610>

Ліхо О. А. [1; ORCID ID: 0000-0001-5991-5035],

к.с.-г.н., професор,

Сафонов Р. В. [2],

Головний державний санітарний лікар у Рівненській області,

Гакало О. І. [3; ORCID ID: 0000-0001-8892-9786],

к.с.-г.н., завідувач відділення підготовки
фахівців вищої та фахової передвищої освіти,

Вознюк Н. М. [1; ORCID ID: 0000-0001-9947-4027],

к.с.-г.н., професор,

Скиба В. П. [4; ORCID ID: 0000-0003-2233-9438],

к.с.-г.н., доцент,

¹Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

²Рівненський обласний ЦКПХ, м. Рівне

³ВСП «Рівненський технічний фаховий коледж НУВГП», м. Рівне

⁴Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
м. Запоріжжя

ПРОГНОЗУВАННЯ РИЗИКІВ НІТРАТНОГО ТА МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ДЖЕРЕЛ НЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Дослідження спрямоване на наукове обґрунтування методичних підходів до прогнозування ризиків нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання з урахуванням умов формування якості води. З цією метою проведено комплексне вивчення проблеми нітратного і мікробіологічного забруднення індивідуальних та громадських водозабірних споруд, яка протягом багатьох років залишається однією з найгостріших для сільських територій у країнах із розвиненим аграрним сектором. Стійкий характер і багатофакторність зазначених видів забруднення визначаються сукупним впливом природних гідрогеологічних умов, інтенсивності господарського використання територій, технічного стану інженерної інфраструктури та ефективності екологічного контролю. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває розроблення надійного інструментарію, що дає змогу здійснювати оцінку та прогноз ризику нітратного і мікробіологічного забруднення для кожного окремого джерела водопостачання в межах сільських населених пунктів. Для вирішення поставленого завдання запропоновано використання модифікованої матриці Леопольда як інструменту прогнозування ризиків з урахуванням умов формування якості підземних вод. Для нецентралізованих систем водозабезпечення характерними є ризики, зумовлені недотриманням санітарно-гігієнічних

вимог під час вибору місця розташування та облаштування як громадських, так і приватних колодязів. Типовими порушеннями є розміщення водозаборів у безпосередній близькості до потенційних джерел забруднення – вигрібних ям, надвірних туалетів, каналізаційних мереж, тваринницьких об'єктів, покинутих шахтних колодязів, а також відсутність належно сформованих санітарно-захисних зон навколо водозабірних споруд. Результати прогнозу оцінки дають можливість ідентифікувати ключові чинники, що зумовлюють формування та поширення нітратного і мікробіологічного забруднення для кожного досліджуваного об'єкта. На основі адаптованої матриці Леопольда розроблено уніфікований шаблон визначення категорії об'єкта залежно від встановленого рівня ризику. Визначена категорія обумовлює режим моніторингових спостережень та впровадження комплексу заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків забруднення підземних водоносних горизонтів нітратами та мікроорганізмами.

Ключові слова: нецентралізовані джерела водопостачання; нітрати; мікробіологічне забруднення; прогнозування; ризики; матриця Леопольда.

Вступ. Проблема нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання впродовж десятиліть залишається однією з найбільш актуальних для сільських територій в багатьох країнах світу з інтенсивним аграрним виробництвом. Нецентралізовані джерела є основним джерелом питної води для значної частини населення, проте саме вони характеризуються найвищою вразливістю до антропогенного забруднення.

Високий рівень небезпеки такого забруднення підтверджується тим, що в країнах Європейського Союзу вже протягом кількох десятиліть заборонено використання ґрунтових водоносних горизонтів без відповідної очистки та дезінфекції.

Про значущість цієї проблеми свідчить також той факт, що нітрати і мікробіологічне забруднення входять до переліку речовин, які контролюються в межах Глобальної системи моніторингу навколишнього середовища (GEMS).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема якості питної води з джерел нецентралізованого водопостачання набула в Україні та багатьох країнах світу особливої актуальності у зв'язку зі стійким поширенням нітратного та мікробіологічного забруднення підземних вод. У сільській місцевості та на територіях із низьким рівнем охоплення централізованими системами водопостачання колодязі, каптажі джерел і свердловини малої глибини залишаються основним

джерелом питної води для населення. Водночас саме ці об'єкти є найбільш уразливими до впливу природних і антропогенних чинників, що формують хімічне та бактеріологічне навантаження на водоносні горизонти.

Широкомасштабні дослідження якості питної води у сільських населених пунктах 15 областей України показали, що перевищення ГДК за вмістом нітратів у підземних водах має системний характер і спостерігається у більшості досліджених регіонів [1]. Встановлено, що характер господарської діяльності населення на досліджуваних територіях не є єдиним визначальним фактором, що обумовлює формування і розповсюдження забруднення. Ключову роль відіграють також гідрогеологічні умови, зокрема глибина залягання водоносного горизонту, який використовується населенням як джерело питного водопостачання; санітарно-технічний стан шахтних і трубчастих колодязів; наявність вигрібних ям, тваринницьких комплексів, відсутність санітарно-захисних зон [1].

Результати дослідження якості води в джерелах нецентралізованого водопостачання на території сільських населених пунктів Житомирської області, показали, що якість води за вмістом нітратів не відповідає нормативним вимогам у 60–70% проб. Автори підкреслюють хронічний характер забруднення, відсутність тенденції до покращення ситуації та необхідність систематичного моніторингу якості питної води у джерелах нецентралізованого водопостачання, особливо у сільських населених пунктах [2].

Узагальнення результатів наукових досліджень щодо особливостей забруднення нітратами джерел нецентралізованого водопостачання дозволило дійти висновку, що найбільш уразливими до нітратного забруднення є приватні колодязі та індивідуальні свердловини через обмежений контроль і відсутність системного моніторингу [3].

Проблема забруднення питної води нітратами зберігає свою актуальність в багатьох країнах світу. Зокрема, у роботі Ward M. H. et al., 2018 зазначається, що тривале споживання питної води, навіть коли концентрація нітратів не перевищує чинні нормативи, може бути асоційоване з підвищеними ризиками для здоров'я. Аналіз результатів досліджень дозволив виявити зв'язок між вживанням питної води, забрудненої нітратами, та несприятливими наслідками для здоров'я. Таким чином було встановлено, що, окрім метгемоглобінемії, існує також ризик розвитку колоректального раку, патології щитовидної залози та дефектів нервової трубки [4].

Забруднення ґрунтових вод нітратами вважається однією з найпоширеніших екологічних проблем в умовах посушливого клімату північного Китаю. Зафіксовано перевищення допустимого вмісту нітратів, відповідно до китайського національного стандарту в 5,48 рази, що свідчить про необхідність впровадження систематичного контролю забруднення нітратами ґрунтових вод в цьому регіоні. Встановлено, що основним джерелом надходження нітратів у ґрунтові води є надмірне використання азотних добрив у сільському господарстві. Гірничодобувна діяльність у цьому районі підсилює проблему, створюючи сприятливі умови для поширення забруднення. Враховуючи ці обставини, автори дослідження не рекомендують використовувати ґрунтові води в цьому районі для питних потреб без попередньої водопідготовки [5].

Ґрунтові води є важливим джерелом нецентралізованого питного водопостачання й у Литві. В процесі дослідження якості води виконувалась оцінка мікробного та хімічного забруднення джерел в різних регіонах країни. Визначалися такі хімічні показники, як рН, нітрити, нітрати, хлориди, сульфати та перманганатний індекс. Мікробіологічний аналіз був спрямований на виявлення *Escherichia coli*, *Enterococcus spp.* та коліформних бактерій. Проведені дослідження дозволили виявити суттєві відмінності між карстовими джерелами та джерелами, що живляться ґрунтовими водами. Карстові джерела були більш чутливими до коливань забруднення, тоді як для джерел, що живляться підземними водами, була притаманна більша стабільність якості води, але при цьому важливу роль відігравали поверхневі джерела забруднення. Найвище мікробне забруднення було зафіксовано восени та взимку, ця тенденція збігалась при збільшенні кількості опадів. Тож, природні джерела, особливо в геологічно уразливих умовах, зазнають ризики мікробіологічного забруднення, що загрожує безпеці питного водопостачання у сільській місцевості [6].

Бактеріальне забруднення питної води у джерелах нецентралізованого водопостачання є також серйозною проблемою в сільських населених пунктах Китаю. Для дослідження рівня бактеріального забруднення питної води в сільській місцевості та виявлення можливих причин появи бактерій, зразки води відбирались з колодязів у десяти сільських районах поблизу Пекіну. Встановлено, що рівень бактеріального забруднення води значною

мірою визначається типом підземних вод, які використовуються для потреб питного водопостачання, глибиною свердловин, їхньою герметизацією та захищеністю водоносного горизонту. При цьому зазначається, що бактеріальне забруднення води було вищим у неглибоких колодязях, колодязях, які не були закриті, у свердловинах, які не мали корпусу, або гирло свердловини було нижче рівня поверхні землі. Мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання значною мірою корелює з близькістю до сухих туалетів, тваринницьких господарств. Саме у таких джерелах питної води після дощів і сезонних паводків частіше фіксуються бактерії-індикатори забруднення води. Підкреслюється, що поверхневе водопоглинання та відсутність бар'єрних природних фільтрів підсилюють ризик проникнення патогенів у ґрунтові води [7].

У США значна частина населення використовує воду з приватних свердловин, тому питання її якості є дуже актуальним. В зв'язку з цим, широкомасштабні дослідження з метою оцінки якості води у приватних свердловинах та встановлення можливих джерел її забруднення, були проведені у Меріленді (США). В чотирьох округах штату було відібрано та проаналізовано 118 зразків води на наявність мікробіологічних та хімічних забруднювачів. Загалом, якість води у 43,2% протестованих свердловин не відповідала федеральному стандарту якості питної води, що базується на санітарних нормах. В зв'язку з цим підкреслювалась необхідність проведення додаткових досліджень для оцінки факторів, які впливають на якість води у свердловинах, а також навчання домовласників щодо тестування води в свердловинах та їх обслуговування, оскільки це може бути важливим для збереження громадського здоров'я [8].

Аналіз літературних джерел за останні роки свідчить про те, що нітратне і мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання має стійкий, поширений і багатофакторний характер. Попри наявність значної кількості регіональних і міжнародних досліджень, проблема залишається недостатньо вирішеною через фрагментарність моніторингу та обмежену реалізацію профілактичних заходів. Це зумовлює необхідність подальших комплексних досліджень і розробки ефективних систем управління якістю питної води у сільській місцевості, що робить наше дослідження досить актуальним.

Мета, завдання та методики проведення досліджень. Метою представлених досліджень була розробка: модифікованої матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання в

залежності від умов формування якості води; шаблону для встановлення категорії об'єкту з визначенням необхідного режиму спостережень за станом досліджуваного джерела з метою зменшення ризику нітратного і мікробіологічного забруднення.

Аналіз статистичних показників за 2016–2024 роки, що характеризують якість підземних вод. Систематизація, обробка, та аналіз матеріалів дослідження здійснювалися за допомогою описового, динамічного та порівняльного методів. У процесі роботи над модифікованою матрицею Леопольда використовувався метод експертних оцінок.

Виклад основного матеріалу дослідження. Стійкість і багатофакторність нітратного та мікробіологічного забруднення обумовлені поєднанням гідрогеологічних особливостей територій, інтенсивності господарської діяльності, стану інженерної інфраструктури та рівня екологічного контролю. Для України ця проблема має системний характер, оскільки значна частка сільського населення використовує саме індивідуальні джерела водопостачання, які не охоплені регулярним лабораторним моніторингом.

Санітарно-гігієнічний стан переважної більшості шахтних колодязів, яких в Україні налічується понад 2,1 млн одиниць, є вкрай незадовільним через широкомасштабне бактеріальне й хімічне забруднення підземних вод внаслідок господарської діяльності. Під час виконання паспортизації джерел нецентралізованого водопостачання, у воді більшості обстежених шахтних колодязів та багатьох свердловин виявлено такі небезпечні забруднювачі, як нітрити, нітрати, азот амонійний, вміст яких у 3–5, а в окремих випадках – у 40–50 разів, перевищували допустимі норми. Значно поширене також бактеріальне й органічне забруднення підземних вод, які є джерелом нецентралізованого водопостачання в сільській місцевості.

Отже, можна стверджувати, що забезпечення населення питною водою із нецентралізованих джерел водопостачання є найбільш проблемним в країні. Сільське населення споживає воду з колодязів та індивідуальних свердловин, які здебільшого знаходяться у незадовільному технічному та санітарному стані [9].

Нітратне забруднення підземних вод пов'язане переважно з інтенсивним застосуванням мінеральних добрив, нераціональним зберіганням гною, функціонуванням вигрібних ям і локальних систем каналізації. Висока мобільність нітрат-іонів у ґрунтовому профілі зумовлює їх швидку міграцію до водоносних горизонтів, що створює ризики хронічного впливу на організм людини, зокрема розвитку метгемоглобінемії у дітей та інших порушень здоров'я. Особливу небезпеку становить тривалий характер такого забруднення, оскільки процеси самоочищення підземних вод від нітратів є обмеженими.

Найвищі концентрації нітратів характерні для води шахтних колодязів із незначною глибиною залягання (1,5–6 м), що здійснюють водозабір із поверхневих водоносних горизонтів. Про підвищений нітратний фон у ґрунтових водах також свідчить наявність органічних сполук, які зазнали біохімічних перетворень від амонійної до нітратної форми. Експериментальні дані Рівненського обласного ЦКПХ, представлені у табл. 1, підтверджують загальні тенденції і свідчать про багаторазове перевищення ГДК нітратів у воді шахтних колодязів.

Таблиця 1

Перевищення ГДК за вмістом нітратів у воді шахтних колодязів по населених пунктах Рівненської області, 2024 р.
(за даними Рівненського обласного ЦКПХ)

№	Місце відбору проб	Визначення вмісту нітратів, мг/дм ³	Перевищення ГДК, разів [10]
Вараський район, Зарічненська ТГ			
1.	с. Мутвиця	126,1-133,5	2,5-2,7
2.	с. Новорічиця	126,0	2,5
3.	с. Іванчиці	116,7	2,3
4.	с. Вичівка	128,8	2,6
5.	с. Неньковичі	110,1	2,2
6.	с. Перекалля	125,7	2,5
7.	с-ще Зарічне	124,4	2,4
8.	с. Борове	127,3	2,5
9.	с. Серники	128,2	2,6
Вараський район, Локницька ТГ			
10.	с. Локниця	125,8	2,5
11.	с. Кутин	131,6	2,6
12.	с. Кухче	126,1	2,5

продовження табл. 1

Дубенський район, Козинська ТГ			
13.	с. Зарічне	74,25–96,46	1,5–1,9
Дубенський район, Варковицька ТГ			
14.	с. Квітневе	139,32	2,8
15.	с. Озеряни	117,9	2,3
Сарненський район, Сарненська ТГ			
16.	с. Любиковичі	68,6–89,7	1,4–1,8
17.	с. Орлівка	105,0	2,1
18.	м. Сарни	64,7–98,6	1,3–1,97
Сарненський район, Степанська ТГ			
19.	с-ще Степань	66,4–142,6	1,3–2,85
20.	с. Кузьмівка	162,0	3,2
Сарненський район, Вирівська ТГ			
21.	с. Вири	63,8–106,3	1,3–2,1
22.	с. Ясногірка	53,2–83,3	1,06–1,7
Рівненський район, Корецька ТГ			
23.	с. Новий Корець	100,8–118,6	2,0–2,4
24.	с. Користь	91,5–135,6	1,8–2,7
Рівненський район, Костопільська ТГ			
25.	с. Пісків	81,6	1,6
26.	м. Костопіль	62,2	1,2
Рівненський район, Деражненська ТГ			
27.	с. Жильжа	57,7–88,2	1,1–1,76
Рівненський район, Олександрійська ТГ			
28.	с. Волошки	74,4	1,46
29.	с. Олександрія	75,3	1,5
Рівненський район, Гоцанська ТГ			
30.	с. Красносілля	273,1	5,46
31.	с. Курозвани	343,3	6,8
32.	с. Русивель	386,1	7,7
33.	с. Малятин	233,5–265,8	4,7–5,3
34.	с. Пустомити	73,3–154,2	2,3–3,1
35.	с. Симонів	145,8	2,9
36.	с. Вовкушів	262,7	5,25
37.	с. Дроздів	517,5	10,3
38.	с. Витків	648,2	12,9
Рівненський район, Бабинська ТГ			
39.	с. Дорогобуж	200,5	4,0
40.	с. Бабин	227,4	4,5
41.	с. Рясники	195,8	3,9
Рівненський район, Клеванська ТГ			
42.	с. Углище	127,0	2,5

Узагальнення результатів дослідження якості води показало, що в більшості адміністративних районів області перевищення ГДК за вмістом нітратів в нецентралізованих джерелах має системний характер і зумовлене зокрема, безконтрольним застосуванням органічних і мінеральних добрив як у сільськогосподарських підприємствах, так і в приватних домогосподарствах.

Перевищення ГДК за вмістом нітратів спостерігається в усіх досліджених шахтних колодязях. Найвищий рівень забруднення води зафіксовано в межах Гощанської ТГ, Рівненського району.

Мікробіологічне забруднення джерел нецентралізованого водопостачання пов'язують з порушенням санітарних вимог до їх розміщення та експлуатації, близькістю до потенційних джерел фекального забруднення, а також недостатнім рівнем санітарної культури населення. Потрапляння у воду патогенних мікроорганізмів (бактерій, вірусів, найпростіших) створює реальну загрозу виникнення інфекційних захворювань та спалахів водно-нітратної й кишкової патології. На сьогодні виділяють два основні механізми мікробіологічного забруднення підземних вод у межах водоносних горизонтів.

Перший пов'язаний із вертикальною міграцією мікроорганізмів разом із субстратами з поверхні ґрунту донизу. Під час інфільтрації забруднюючі агенти проходять крізь ґрунтовий профіль і підстилаючі породи, де під впливом фізичних, хімічних і біологічних процесів відбувається істотне зниження їх концентрації. Встановлено, що шар ґрунту товщиною близько 0,4 м здатний затримувати до 90% бактеріальної маси. За умов цілісності ґрунтового покриву та однорідності підстилаючих порід максимальна глибина проникнення бактерій унаслідок вертикальної фільтрації зазвичай не перевищує 4–5 м.

Другий механізм забруднення пов'язаний із проникненням мікроорганізмів безпосередньо через водозабірні споруди у разі їх неналежного встановлення, порушень правил експлуатації або недотримання вимог зон санітарної охорони. У таких ситуаціях погіршення якості води відбувається швидко, однак після виявлення джерела проблема може бути оперативно локалізована [9].

Суттєва частка відхилень якості води за мікробіологічними показниками характерна саме для нецентралізованих джерел водопостачання. У водному середовищі колодязів та інших індивідуальних водозаборів можливий розвиток патогенних бактерій і вірусів, які здатні спричинити інфекційні захворювання.

Дані щодо невідповідності якості води із нецентралізованих джерел водопостачання за мікробіологічними показниками в 15-ти районах області, а також містах Рівне та Вараш представлені у таблиці 2. Слід зазначити, що згідно з Постановою Верховної Ради України «Про утворення та ліквідацію районів» (№ 807-ІХ від 17.07.2020) на території Рівненської області було сформовано чотири адміністративних райони (Вараський, Рівненський, Дубенський, Сарненський). Для зручності та забезпечення можливості коректного аналізу і порівняння результатів досліджень якості питної води в Рівненській області, які були проведені починаючи з 2020 року, і результатів багаторічних досліджень, виконаних у період з 2001 по 2019 роки, використовується старий поділ на адміністративні райони.

Аналіз і обробка даних таблиці дозволили нам встановити загальні тенденції формування мікробіологічного забруднення на території Рівненської області. На рис. 1 представлено графік невідповідності якості питної води за мікробіологічними показниками із нецентралізованих джерел у Рівненській області за 2016–2024 роки. На осі ординат відкладався середньорічний відсоток кількості проб води, якість якої, не відповідала нормативним вимогам.

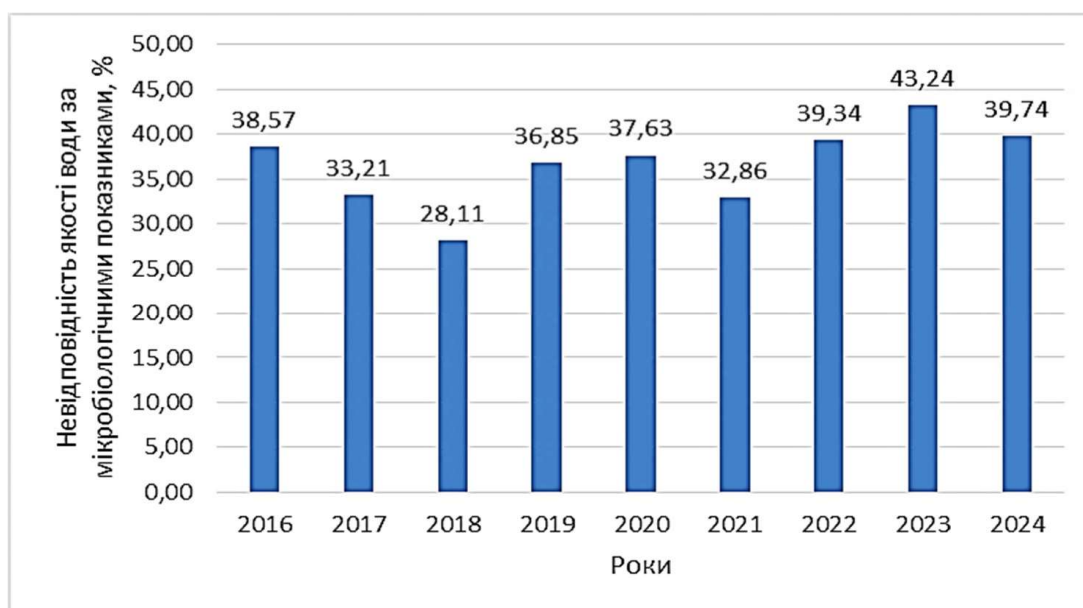


Рис. 1. Відсоток невідповідності якості питної води за мікробіологічними показниками (середньорічні значення) із нецентралізованих джерел у Рівненській області за 2016–2024 рр.

Для вирішення проблеми забезпечення населення питною водою, якість якої відповідає нормативним вимогам, необхідно здійснити оцінювання ризиків можливого забруднення підземних водоносних шарів, що використовуються сільськими мешканцями як джерела питного водопостачання. Запропонована нами методика визначення ризиків, пов'язаних із використанням централізованих і нецентралізованих систем водопостачання (на прикладі Рівненської області), ґрунтується на засадах ризик-орієнтованого підходу та передбачає поетапну реалізацію взаємопов'язаних процедур [9].

Перший етап передбачає ідентифікацію потенційних небезпек, що дає можливість встановити ключові чинники ризику, серед яких провідне значення мають показники якості води, технічний стан і санітарне утримання джерел водопостачання, а також особливості застосованих технологій очищення та підготовки води.

Другий етап полягає у проведенні поглибленого аналізу та кількісному визначенні рівня встановлених ризиків. Заключним етапом є формування та впровадження комплексу управлінських і технічних заходів, спрямованих на мінімізацію або повне усунення виявлених ризиків. Реалізація таких заходів є необхідною умовою підвищення ефективності функціонування систем водопостачання на локальному і регіональному рівнях.

Для нецентралізованих систем водозабезпечення населення найбільш типовими є ризики, пов'язані з недотриманням санітарних норм під час вибору місця розташування та облаштування як громадських, так і приватних колодязів. Порушення зазвичай зумовлені близькістю джерел води до потенційних осередків забруднення – вигрібних ям, надвірних туалетів, каналізаційних мереж, об'єктів утримання худоби, покинутих шахтних колодязів, а також відсутністю належно облаштованих санітарно-захисних зон навколо водозабірних споруд.

Окрему проблему становить невідповідність показників якості питної води встановленим гігієнічним нормативам. Йдеться передусім про перевищення мікробіологічних показників, концентрацій нітратів та окремих хімічних компонентів (зокрема фтору, йоду, магнію, заліза), а також про відхилення за параметрами загальної жорсткості й лужності.

Таблиця 2

Невідповідність якості води із нецентралізованих джерел водопостачання
за мікробіологічними показниками, % (за даними Рівненського обласного ЦКПХ)

№ з/п	Райони	Невідповідність якості води по роках,%											
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024			
1.	Березнівський		10,39	12,12	19,0	4,8	0	0	10,1	27,9			
2.	Володимирецький	58,0	50,0	22,92	20,0	0	68,8	69,2	37,5	52,9			
3.	Гоцанський	70,0	50,0	86,11	77,8	100	94,4	60,0	71,4	84,8			
4.	Дубенський	33,3	36,11	22,44	41,8	20,0	40,0	50,0	19,0	29,5			
5.	Дубровицький	1,0	2,33	7,14	11,0	5,3	4,1	11,1	11,8	1,8			
6.	Заріченський	5,3	22,58	17,89	11,1	20,0	34,0	39,5	38,5	16,4			
7.	Здолбунівський	53,3	33,33	22,53	21,4	66,7	67,0	75,0	100	50,0			
8.	Костопільський	64,4	45,45	55,22	70,6	71,2	34,8	51,4	47,7	42,1			
9.	Корецький	32,6	41,74	24,11	29,5	21,4	16,9	16,9	18,5	14,9			
10.	Млинівський	23,0	41,67	26,67	-	50,0	0	0	-	5,4			
11.	Острозький	66,6	62,32	44,05	65,8	42,9	60,7	46,7	45,9	45,2			
12.	Радивилівський	4,7	25,2	19,3	15,6	9,5	5,9	12,5	1,7	1,8			
13.	Рівненський	-	22,53	20,0	27,3	42,0	37,5	0	91,7	50,0			
14.	Рокитнівський	22,6	31,45	11,24	10,0	12,6	8,5	20,7	21,5	29,8			
15.	Сарненський	66,7	38,98	50,82	95,0	100	62,5	76,5	53,3	100			
16.	м. Рівне		17,33	7,14									
17.	м. Вараш					40,0	29,4	100	80,0	83,3			



Виявлення причин такої невідповідності потребує встановлення закономірностей перебігу природних і техногенних процесів, що визначають поширення, міграцію та трансформацію забруднюючих речовин у довкіллі та їхній вплив на якісний склад води. У цьому контексті особливої ваги набуває екологічний моніторинг, зокрема його прогностична функція, яка дозволяє оцінити тенденції та можливі сценарії розвитку зазначених процесів.

В зв'язку з цим важливо мати достатньо надійний інструмент, який дозволить здійснити прогнозування ризику нітратного і мікробіологічного забруднення кожного джерела нецентралізованого водопостачання в сільських населених пунктах, а також встановити категорію об'єкту, який встановлюється в залежності від рівня ризику забруднення. Це насамперед стосується шахтних і трубчастих колодязів.

Варто зазначити, що будь-які прогнози мають імовірнісний характер, оскільки базуються на аналізі даних про стан навколишнього природного середовища як у поточний період, так і в ретроспективі.

Якість підземних вод, які використовуються як джерела нецентралізованого водопостачання у сільській місцевості, формується під впливом природних і антропогенних факторів. На сьогодні забруднення навколишнього середовища, зокрема, водних об'єктів контролюється контактними методами (прямими), але практика демонструє можливість і ефективність використання непрямих методів. Для прогнозу наслідків впливу цих факторів використовують методи системного аналізу, що представлені такими основними групами: методи екстраполяції, методи моделювання та метод експертних оцінок [11].

Для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання залежно від умов формування якості води, нами запропоновано модифіковану матрицю Леопольда. При цьому були використані підходи, запропоновані для побудови матриці, призначеної для оцінки впливу на компоненти лімноекосистем [10].

Матриця Леопольда представляє собою контрольний перелік показників, який відображає взаємозв'язки типу «причина – наслідки» та водночас є джерелом інформації про результати цієї взаємодії. В процесі роботи з модифікованою матрицею Леопольда для оцінки умов формування якості води у трубчастих і шахтних колодязях використовується метод експертних оцінок (табл. 3).

У ДСанПіН 2.2.4-171-10 представлено бланк для оформлення «Санітарних паспортів на нецентралізовані джерела водопостачання» [11]. При формуванні модифікованої матриці Леопольда для оцінки умов формування якості води у трубчастих і шахтних колодязях використані показники представлені в цьому документі. Аналіз результатів досліджень дозволяє стверджувати, що рівень нітратного та мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання, значною мірою обумовлюється санітарно-технічним станом джерела, а також характером та інтенсивністю господарської діяльності населення на прилеглих територіях.

Робота з матрицею Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення трубчастих та шахтних колодязів передбачає наступні кроки:

1. У кожній клітині матриці проставити інтенсивність впливу (ω_i) на об'єкт впливу. Інтенсивність впливу оцінюється за шкалою від 0 до 3-х балів.

2. Розрахувати значимість (γ_i) кожного з впливів за формулою:

$$\gamma_i = 100/m_i , \quad (1)$$

де m – кількість значущих комірок у матриці, у яких $\omega \neq 0$

3. Розрахувати загальну силу впливу (I):

$$I = \gamma_i \sum_{i=1}^n \omega_i . \quad (2)$$

У запропонованій нами модифікації матриці Леопольда, призначеній для прогнозування нітратного і мікробіологічного забруднення трубчастих та шахтних колодязів, кількість значимих комірок – 100. В них відображається наявність зв'язку «вплив – наслідки» за шкалою оцінки інтенсивності впливу на досліджуване джерело. В кожному комірці вноситься значення, що характеризує інтенсивність впливу: «0» балів – вплив відсутній; «1» бал – слабкий вплив; «2» бали – середній вплив; «3» бали – сильний вплив, далі розраховується значимість всіх впливів та загальну силу впливу.

Аналіз результатів прогнозування дозволяє встановити чинники, які обумовлюють ризики формування і розповсюдження нітратного та мікробіологічного забруднення для кожного досліджуваного джерела.

При експертному оцінюванні впливів, що обумовлюють інтенсивність та поширення нітратного і мікробіологічного

забруднення, отримані в результаті розрахунків максимальні значення сум балів у стовбцях, відповідають найбільш суттєвим з них. Максимальні отримані значення сум балів у строках відповідають показникам, які є найбільш чутливими в умовах формування нітратного та мікробіологічного забруднення у конкретному джерелі нецентралізованого водопостачання (табл. 3).

На базі матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання нами розроблений шаблон для визначення категорії об'єкту, який встановлюється залежно від рівня ризику (табл. 4). Категорія об'єкту визначає необхідний режим спостережень за станом досліджуваного джерела з метою зменшення ризику нітратного і мікробіологічного забруднення підземних водоносних горизонтів. За сумою балів у стовпцях і строках, наведених в табл. 4, використовуючи запропоновану нами шкалу, представлену у табл. 5, досліджуваний об'єкт можна віднести до відповідної категорії.

Таблиця 5

Шкала для визначення категорії об'єкту (джерела нецентралізованого водопостачання) з урахуванням ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення

Категорія об'єкту	Значення суми балів	Рівень ризику забруднення
I	210–300	високий
II	110–200	середній
III	0–100	низький

Управління ризиками нітратного і мікробіологічного забруднення джерела нецентралізованого водопостачання базується на результатах моніторингу й охоплює обґрунтування та забезпечення робіт з усунення конкретних чинників ризику.

Таблиця 3
Шаблон матриці Леопольда для прогнозування ризиків нітратного і мікробіологічного забруднення джерел нецентралізованого водопостачання (трубчастих та шахтних колодязів)

Показники, що впливають на забруднення води	Впливи та наслідки										
	Забруднення		Водоносний горизонт			Технічний стан			Господарська діяльність		
	азот нітратний	мікробіол. показники	глибина залягання	захищеність	наявність «замка»	відведення стоку	навіс рілля	сад, город	утримання худоби	відходи та інші джерела	
Забруднення											
азот нітратний											
мікробіологічні показники											
Водоносний горизонт											
глибина залягання											
захищеність											
Технічний стан											
наявність «замка»											
відведення стоку											
навіс/оголовок*											
Господарська діяльність											
рілля											
сад, город											
утримання худоби											
відходи та інші джерела забруднення											
Загальна сила впливу, /											

* наявність навісу враховується при дослідженні шахтних колодязів; улаштування оголовку – трубчастих колодязів.

Загальні рекомендації щодо зниження рівня ризиків включають: паспортизацію та створення інформаційної бази даних екологічного стану джерел водопостачання сільських населених пунктів; застосування пересувних локальних установок з доочищення води; використання засобів дезінфекції для знезараження води джерел децентралізованого водопостачання; контроль за дотриманням умов розташування й облаштування джерел децентралізованого водопостачання згідно з ДСПіН 2.2.4-171-10; реалізацію відомчого лабораторного контролю якості води; контроль за джерелами забруднення шахтних колодязів; знешкодження джерел політантів; посилення контролю за дотриманням регламентів застосування засобів захисту рослин, мінеральних добрив; відбір та дослідження проб води потрібно проводити як мінімум 2 рази в рік в місцях інтенсивного ведення сільського господарства [9].

Висновки. Розроблений нами підхід до прогнозування оцінки ризиків нітратного та мікробіологічного забруднення шахтних і трубчастих колодязів ґрунтується на застосуванні адаптованої матриці Леопольда. Запропонована методика дає можливість врахувати санітарно-технічний стан об'єктів децентралізованого водопостачання, гідрогеологічні особливості експлуатованого водоносного горизонту, а також специфіку землекористування й ступінь антропогенного навантаження на території формування підземних вод.

За результатами проведеної оцінки кожне джерело нецентралізованого водопостачання відносять до відповідної категорії залежно від прогнозованого рівня ризику нітратного та мікробіологічного забруднення питної води. Така класифікація забезпечує можливість визначення пріоритетності природоохоронних заходів, встановлення оптимального режиму моніторингових спостережень та усунення або мінімізації чинників негативного впливу.

З урахуванням сучасного стану водозабезпечення сільського населення Рівненської області та фактичних показників якості питної води, першочергового значення набувають заходи, спрямовані на впровадження дієвих технологій знезараження води з індивідуальних джерел, застосування мобільних установок локального доочищення, реалізацію регіональних програм розвитку водогосподарського комплексу, проведення інвентаризації та паспортизації колодязів, а

також формування єдиної інформаційної системи щодо екологічного стану джерел питного водопостачання у сільських населених пунктах. Водночас актуальним є розроблення практико-орієнтованих рекомендацій із забезпечення населення водою, якісні показники якої відповідатимуть чинним санітарно-гігієнічним нормативам. Комплексна реалізація окреслених заходів сприятиме зміцненню водної безпеки територій та підвищенню якості життя сільського населення.

Отже, дослідження закономірностей формування нітратного і мікробіологічного забруднення підземних вод, удосконалення систем спостереження та впровадження ризик-орієнтованого управління якістю води є об'єктивно необхідним як з наукового, так і з практичного погляду. Розв'язання цієї проблематики має визначальне значення для забезпечення санітарно-епідемічного благополуччя населення та реалізації засад сталого розвитку у сфері водокористування.

1. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Polishchuk Zh. P. et al. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 2. P. 127–133.
2. Herasymchuk L., Hryshchenko T., Polishchuk S. Water Quality from the Sources of Non-Centralized Water Supply. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 15–22. DOI: 10.2478/eko-2022-0013.
3. Яковлев В. В., Дмитренко Т. В. Деякі особливості нітратного забруднення джерел децентралізованого водопостачання. *Екологічні науки*. 2025. № 4(61). С. 27–33. DOI: 10.32846/2306-9716/2025.eco.4-61.27.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D. et al. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, No. 7. P. 1557. DOI: 10.3390/ijerph15071557.
5. Wenwen Feng, Chao Wang, Xiaohui Lei, Hao Wang, Xueliang Zhang. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17(24). P. 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>
6. Žaneta Maželienė, Giedrė Jarienė, Asta Aleksandravičienė. Microbial and Chemical Contamination in Springs of Northern and Central Lithuania. *Microbiol. Res.* 2025. Vol. 16(11). P. 229. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16110229>
7. Bixiong Ye., Linsheng Yang, Yonghua Li, Wuyi Wang. Water Sources and Their Protection from the Impact of Microbial Contamination in Rural Areas of Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. March 2013. Vol. 10(3). P. 879–891. DOI:10.3390/ijerph10030879.
8. Rianna Murray, Rachel E Rosenberg Goldstein, Elisabeth F. Maring, Daphne Pee. Prevalence of Microbiological and Chemical Contaminants in Private Drinking Water Wells in Maryland, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. August 2018. Vol. 15(8). P. 1686. DOI:10.3390/ijerph15081686
9. Ліхо О. А., Гакало О. І. Управління ризиками при забезпеченні населення Рівненської області водою : монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 195 с.
10. 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 від 22.04.2022 р. № 683. URL:

<https://ips.ligazakon.net/document/RE37900?an=1> (дата звернення: 10.02.2026).
11. Геоінформаційні дослідження водних екосистем України: моніторинг та прогнозування : монографія / О. М. Трофимчук, В. М. Триснюк, Є. С. Анпілова та ін. Івано-Франківськ : Видавець: Супрун В. П., 2022. 212 с. **12.** ДСПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. № 452/17747. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 2010. 48 с.

REFERENCES:

1. Romanchuk L. D., Valerko R. A., Polishchuk Zh. P. et al. Assessment of the impact of organic agriculture on nitrate content in drinking water in rural settlements of Ukraine. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9, No. 2. P. 127–133.
2. Herasymchuk L., Hryshchenko T., Polishchuk S. Water Quality from the Sources of Non-Centralized Water Supply. *Ecological Engineering & Environmental Technology*. 2022. Vol. 23, No. 2. P. 15–22. DOI: 10.2478/eko-2022-0013.
3. Yakovliev V. V., Dmytrenko T. V. Deiaki osoblyvosti nitratozabrudnennia dzherel detsentralizovanoho vodopostachannia. *Ekolohichni nauky*. 2025. № 4(61). S. 27–33. DOI: 10.32846/2306-9716/2025.eco.4-61.27.
4. Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D. et al. Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2018. Vol. 15, No. 7. P. 1557. DOI: 10.3390/ijerph15071557.
5. Wenwen Feng, Chao Wang, Xiaohui Lei, Hao Wang, Xueliang Zhang. Distribution of Nitrate Content in Groundwater and Evaluation of Potential Health Risks: A Case Study of Rural Areas in Northern China. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020. Vol. 17(24). P. 9390. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249390>
6. Žaneta Maželienė, Giedrė Jarienė, Asta Aleksandravičienė. Microbial and Chemical Contamination in Springs of Northern and Central Lithuania. *Microbiol. Res*. 2025. Vol. 16(11). P. 229. <https://doi.org/10.3390/microbiolres16110229>
7. Bixiong Ye., Linsheng Yang, Yonghua Li, Wuyi Wang. Water Sources and Their Protection from the Impact of Microbial Contamination in Rural Areas of Beijing. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. March 2013. Vol. 10(3). P. 879–891. DOI:10.3390/ijerph10030879.
8. Rianna Murray, Rachel E Rosenberg Goldstein, Elisabeth F. Maring, Daphne Pee. Prevalence of Microbiological and Chemical Contaminants in Private Drinking Water Wells in Maryland, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH)*. August 2018. Vol. 15(8). P. 1686. DOI:10.3390/ijerph15081686
9. Likho O. A., Hakalo O. I. Upravlinnia ryzykamy pry zabezpechenni naselennia Rivnenskoj oblasti vodoiu : monohrafiia. Rivne : NUVHP, 2013. 195 s.
10. Pro zatverdzhennia Derzhavnykh sanitarnykh norm i pravyl «Pokaznyky bezpechnosti ta okremi pokaznyky yakosti pytnoi vody v umovakh voiennoho stanu ta nadzvychainykh sytuatsiiakh inshoho kharakteru» : nakaz MOZ vid 22.04.2022 r. № 683. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/RE37900?an=1> (дата звернення: 10.02.2026).
11. Heoinformatsiini doslidzhennia vodnykh ekosystem Ukrainy: monitorynh ta prohnozuvannia : monohrafiia / O. M. Trofymchuk, V. M. Trysniuk, Ye. S. Anpilova ta in. Ivano-Frankivsk : Vydavets: Suprun V. P., 2022. 212 s.
12. DSPiN 2.2.4-171-10. Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoj dlia spozhyvannia liudynoi. № 452/17747. Kyiv : Ministerstvo okhorony zdorovia Ukrainy, 2010. 48 s.

Likho O. A. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-5991-5035] ,

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor,

Safonov R. V. ^[2]

Chief State Sanitary Doctor in Rivne Region,

Gakalo O. I. ^[3; ORCID ID: 0000-0001-8892-9786] ,

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer,

Vozniuk N. M. ^[1; ORCID ID: 0000-0001-9947-4027] ,

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Professor,

Skyba V. P. ^[4; ORCID ID: 0000-0003-2233-9438] ,

Candidate of Agricultural Sciences (Ph.D.), Associate Professor

¹*National University of Water and Environmental Engineering, Rivne*

²*Rivne Regional Center for Disease Control and Prevention*

³*SSU «Rivne Technical Professional College of NUWEE», Rivne*

⁴*Dmytro Motorny Tavria State Agrotechnological University, Zaporizhzhia*

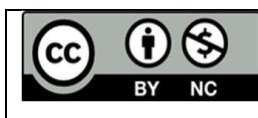
FORECASTING THE RISKS OF NITRATE AND MICROBIOLOGICAL POLLUTION OF SOURCES OF DISTRICT WATER SUPPLY

The study is aimed at providing a scientific substantiation of methodological approaches to the predictive assessment of risks of nitrate and microbiological contamination of decentralized water supply sources, taking into account the conditions of water quality formation. For this purpose, a comprehensive investigation of the problem of nitrate and microbiological contamination of individual and public water intake facilities was conducted. This issue has remained one of the most pressing challenges for rural areas in countries with highly developed agricultural sectors for many years. The persistent and multifactorial nature of these types of contamination is determined by the combined influence of natural hydrogeological conditions, the intensity of land use, the technical condition of engineering infrastructure, and the effectiveness of environmental control. In this context, the development of a reliable tool enabling individualized assessment and prediction of nitrate and microbiological contamination risks for each specific water supply source within rural settlements becomes particularly relevant. To address this objective, a modified Leopold matrix is proposed as a tool for risk prediction, taking into account the conditions of groundwater quality formation. Decentralized water supply systems are typically associated with risks arising from non-compliance with sanitary and hygienic requirements when selecting locations and arranging both public and private wells. Common violations include the placement of water intakes in close proximity to potential sources of contamination—such as cesspits, outdoor latrines, sewer networks, livestock facilities, abandoned shaft wells—as well as the absence of properly established sanitary protection zones around water intake structures. The results of the predictive assessment make it possible

to identify the key factors determining the formation and spread of nitrate and microbiological contamination for each studied source. Based on the adapted Leopold matrix, a unified template has been developed to determine the category of a facility depending on the established level of risk. The assigned category defines the monitoring regime and the implementation of a set of measures aimed at minimizing the risks of nitrate and microbial contamination of groundwater aquifers.

Keywords: decentralized water supply sources; nitrates; microbiological pollution; forecasting; risks; Leopold matrix.

Отримано / Received: 02.03.2026
Прийнято до друку / Accepted: 16.03.2026
Опубліковано / Published: 27.03.2026



© 2026 [Likho O. A., Safonov R. V., Gakalo O. I., Vozniuk N. M., Skyba V. P.]. Licensee {NUWEE}. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC) license (creativecommons.org)